

DISEÑO DE UNA ESTACIÓN GENERADORA DE COMPOST PARA RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS

MAURICIO ORTEGA ORTIZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
PREGRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
PEREIRA

2020

DISEÑO DE UNA ESTACIÓN GENERADORA DE COMPOST PARA RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS

MAURICIO ORTEGA ORTIZ

Trabajo de grado presentado para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Director trabajo de grado:

LIBARDO V. VANEGAS USECHE, Ingeniero Mecánico, Ph.D.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ÁREA DE DISEÑO DE MÁQUINAS
PEREIRA 2020

Aprobado por el comité de trabajo de grado
en cumplimiento de los requisitos exigidos
por la Universidad Tecnológica de Pereira
para optar al título de ingeniero mecánico.

Director del trabajo de grado

Jurado

Jurado

Pereira, julio de 2020.

En primer lugar, agradezco a mi madre María, por su inconmensurable labor, por su afecto incondicional durante mis etapas educativas, por su ímpetu apasionado para guiarme, sin ella, este logro sería inalcanzable.

A mis hermanos por el acompañamiento en estos años de arduo y prolongado camino, juntos logramos este objetivo.

A la Fundación Enfances 2/32 agradecimientos sinceros, porque las sonrisas infinitas de mi infancia planean en aquel lugar, también por el apoyo irrestricto durante este trayecto.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi gratitud a:

La Universidad Tecnológica de Pereira, por haberme permitido finalizar esta etapa, por ejercer un impacto sobre los jóvenes en busca de un futuro profesional, por la formación integral y ética.

Juan Esteban Tibaquirá., Ph.D., Decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira y a los profesores de la Facultad.

Libardo V. Vanegas U., Ph.D., Profesor titular de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira y Director del trabajo de grado, por su labor exhaustiva, disposición y recomendaciones para la finalización de este proyecto.

José H. Giraldo V., Ing., Esp., Profesor pensionado de la Facultad de Tecnología de la Universidad Tecnológica de Pereira, por sus pertinentes orientaciones para llevar a cabo este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

1.	RESUMEN	10
2.	INTRODUCCIÓN	11
3.	MARCO TEÓRICO	13
3.1.	Residuos sólidos urbanos.....	13
3.2.	RSU en las principales ciudades de Colombia.....	13
3.3.	Alternativas para el tratamiento de RSU.....	17
3.4.	Compost	19
3.5.	Técnicas para producir compost	22
3.6.	Marco legal	25
4.	Estaciones de compost	26
4.1.	Factibilidad de una estación de compost.....	26
4.2.	Diseño de la planta	27
4.3.	Escala de la planta	28
4.4.	Operaciones unitarias	29
4.5.	Planta de operación manual.....	29
4.6.	Plantas parcialmente mecanizadas.....	30
4.7.	Plantas mecanizadas	31
5.	Diseño de la estación generadora de compost	32
5.1.	Diseño del reactor aeróbico	33
5.1.1.	Diámetro del reactor	34
5.1.2.	Volumen del reactor.....	34
5.2.	Cálculo de la potencia y sistema de transmisión	36
5.2.1.	Esquema de la transmisión.....	37
5.2.2.	Selección del motorreductor	37
5.2.3.	Cálculo de la transmisión dentada	37
5.2.4.	Diseño por esfuerzos variables a flexión	42
5.2.5.	Esfuerzos superficiales o resistencia a la picadura de AGMA.....	43
5.3.	Análisis estructural del reactor.....	46
5.3.1.	Diagrama de cuerpo libre del reactor	47
5.3.2.	Reacciones:	48
5.3.3.	Esfuerzos longitudinales en el plano de los soportes del reactor	49
5.3.4.	Esfuerzos longitudinales en el plano medio del recipiente	50
5.3.5.	Esfuerzos cortantes	51

5.3.6. Esfuerzos circunferenciales	51
5.3.7. Esfuerzos circunferenciales en la zona del fondo del soporte.	52
5.4. Sistema de amortiguación para el reactor	53
5.5. Colector de polvo.....	53
5.6. Estructura metálica	55
5.7. Bandas trasportadoras	55
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA	59
ANEXOS.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Caracterización de residuos sólidos en algunas ciudades de Colombia.....	16
Figura 2. Etapas y metas de la Política Nacional para la GIRS.....	17
Figura 3. Porcentaje de residuos orgánicos producida en una bolsa convencional.....	20
Figura 4. Dinámica de degradación en el proceso de compost.....	21
Figura 5. Diagrama de proceso de una estación de compost de operación manual.....	29
Figura 6. Diagrama de proceso de una estación de compost parcialmente mecanizada	30
Figura 7. Diagrama de proceso de una planta de compost mecanizada en pilas.....	31
Figura 8. Esquema de un reactor cilíndrico para compost.....	32
Figura 9. Estación generadora de compost.....	33
Figura 10. Reactor con medidas en cm.....	34
Figura 11. Reactor con refuerzos estructurales.....	35
Figura 12. Sistema de transmisión de potencia.....	37
Figura 13. Configuración geométrica del reactor.....	47
Figura 14. Diagrama de cuerpo libre XY del reactor.....	47
Figura 15. Diagrama de momento flector y fuerza cortante.....	49
Figura 16. Sistema de amortiguación, llantas ubicadas en los extremos del reactor.....	53
Figura 17. Colector de polvo diseñado en Inventor.....	54
Figura 18. Estructura metálica diseñada en Inventor.....	55
Figura 19. Banda transportadora diseñada en Inventor.....	57

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Vida útil estimada del relleno sanitario “La Glorita”.....	16
--	----

1. RESUMEN

En este trabajo de grado se muestra el panorama de los residuos sólidos urbanos en Colombia. Así mismo, se describen los diferentes procesos actuales utilizados para la transformación y el aprovechamiento de los desechos orgánicos. Una de esas alternativas más loables frente a los rellenos sanitarios (más utilizado) es el compost; éste ayuda a atenuar los efectos contaminantes, y también garantizar un alto aprovechamiento y conversión de desechos orgánicos. A partir de lo anterior, se presenta el diseño de una estación generadora de compost a través del programa CAD Inventor. En este sistema industrial, uno de los componentes más importantes es el reactor giratorio; para la realización de éste, se ha tenido en cuenta el volumen a tratar y el sistema de transmisión de potencia. También se ha diseñado un colector de polvo y bandas transportadoras. Dicha planta tiene capacidad para llegar al tiempo de maduración en días.

2. INTRODUCCIÓN

En pleno siglo XXI se ha evidenciado cierta preocupación por el medio ambiente de los diferentes entes políticos y la sociedad en general, al procurar la realización de diversos proyectos y la adopción de políticas públicas. Por ejemplo, el séptimo objetivo del milenio desde la garantía de la sostenibilidad del medio ambiente y proyectos como “Basura cero”, el Decreto 1505 de 2003 y el 1713 de 2002, entre otros. Sin embargo, muchos de estos proyectos presentan fallas en su funcionamiento y continúa siendo crítico el desequilibrio natural que el hombre está provocando en la tierra. Los índices de contaminación advierten que si no se emplean estrategias y procesos que conlleven a la protección del planeta, la vida de todos los seres vivos seguirá destinada a desaparecer.

En esta misma línea, existen varios factores que atentan contra el equilibrio ambiental, siendo uno de ellos la producción de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Esto se debe en gran medida a las políticas económicas sustentadas en el consumo, que han deformado de manera perjudicial la interacción humano-ambiente, como consecuencia de procesos inadecuados de disposición final y manejo, generando malos olores, enfermedades, efecto invernadero, calentamiento global y otras repercusiones.

Los RSU están presentes en la realidad de la sociedad y forman un problema latente. La primera metodología que se empleó para su manejo se relaciona con la deposición a cielo abierto, lo que se mantiene hasta la actualidad, y se conmutó en una dificultad en el momento en que se empezaron a formar las grandes ciudades, puesto que, con los procesos de industrialización y avances tecnológicos, el volumen de residuos fue en aumento. Desde esta perspectiva se evidencia que “Uno de los retos que deben enfrentar los agentes y representantes del Estado en el mundo, es la problemática del manejo de los residuos generados por los habitantes de éste” [1].

Luego de la deposición a cielo abierto, surge el relleno sanitario que se configura y establece como principal estrategia de manejo de los residuos en Colombia; si bien estos cuentan con unas medidas técnicas, continúan presentando dificultades en relación con el impacto ambiental. Por ello Noguera y Olivero [2] afirman que “Aunque los rellenos que existen en la actualidad poseen diversidad de problemas operativos, los encontrados con mayor frecuencia son un inadecuado tratamiento de los lixiviados, la emisión de olores desagradables y un

manejo pobre de la cobertura de los residuos sólidos”. Desde esta perspectiva no representa la mejor alternativa en relación con el equilibrio ambiental.

Ahora bien, los RSU son en esencia una forma degradada que ha perdido valor económico y utilización. Es necesario entonces establecer un “enfoque posconsumo” y analizar la asociación de actividades relacionadas con los residuos generados y su finalidad desde la posición económica, ambiental y social.

En particular, los orgánicos constituyen cerca del 61,5% del volumen total de RSU generados, según se expone en el documento CONPES 2016 [3]. Por tanto, es primordial buscar e implementar métodos que permitan un manejo adecuado, la transformación y reutilización de los desechos residuales buscando la sostenibilidad de los recursos naturales.

Para lograr la sostenibilidad mencionada, una de las estrategias es la producción de compost a partir de los RSU, debido a la posibilidad de la reutilización de la materia orgánica. Esto permite atenuar el uso de fertilizantes químicos sobre el suelo y aumentar la seguridad alimentaria, mientras que de seguir con el modelo lineal (rellenos sanitarios), aumentarán los problemas descritos anteriormente.

Por lo tanto, con el presente trabajo se lleva a cabo el diseño industrial de un módulo de compost a través de herramientas computacionales, aplicando fundamentos teóricos del diseño de máquinas, donde se pueda desarrollar un proceso de descomposición controlada, mediante la transformación de residuos en abono orgánico. Esta elección, bajo evaluaciones financieras, tiene menores costos que los rellenos sanitarios de acuerdo con el CONPES 2016 [3].

En la presente investigación, el propósito principal es diseñar una máquina industrial para el tratamiento de RSU, teniendo en cuenta el tratamiento actual de los residuos y en términos de la economía del país, la sostenibilidad ambiental, la gestión integral y la eficacia de transformación por volumen.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Residuos sólidos urbanos

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son el resultado de las actividades de domicilios particulares, comercio, oficinas, muebles abandonados, residuos de vías públicas, escombros, etc. Es decir, son los que se generan en la dinámica de las ciudades. Se puede concebir que “Un residuo es algo que carece de valor de uso y, por tanto, de valor de cambio” [4]. Por tal razón, las personas buscan cuanto antes poder deshacerse de ellos, sin pensar precisamente en el impacto ambiental, económico y de procesamiento, de acuerdo con su composición o el lugar de disposición final.

No conocer lo que se desecha conlleva a no solucionar la problemática. Se puede decir que los RSU se clasifican en residuos orgánicos e inorgánicos. Los orgánicos, a través de diferentes procesos, pueden llegar a la descomposición y reintegrarse al ciclo natural, ya sea porque se reutilicen o se incorporen como nutrientes al suelo. Los residuos inorgánicos son aquellos que, como el vidrio o los metales no degradables, pueden reutilizarse o reciclarse [5]. De esta manera, se podrán caracterizar los residuos desde el momento en el que se producen, de acuerdo con posibilidades de otorgar valor económico o material, generando así otra forma de sostenibilidad.

Dicho entendimiento debe conducir a la apropiación de políticas de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (GRSU). Con éstas, además de educar al ciudadano en procesos de recolección, se realiza inversión económica para emplear tecnología que permita el desarrollo de mejores procesos de eliminación, procurando disminuir el impacto ambiental y aprovechando los recursos.

3.2. RSU en las principales ciudades de Colombia

La responsabilidad de los RSU para su tratamiento y eliminación recae sobre la gestión administrativa y lo rigen políticas públicas. Esto se enmarca en el artículo 5 de la Ley 142 de 1994, donde se reconoce la responsabilidad del municipio de prestar servicios de aseo, alcantarillado, energía, acueducto, entre otros. Así mismo, en el 2002 el gobierno expide el Decreto 1213 que reglamentó el servicio de aseo y Gestión Integral de Residuos Sólidos

(GIRS), el cual se modificó en 2003 con el Decreto 1505 que exige planes de GIRS actualizados y que finalmente se deroga en el artículo 121 del Decreto nacional 2981 de 2013, al cual se acogen el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT] a través de la Resolución 1045 de 2003 para la formulación, implementación y seguimiento de PGIRS¹ [6].

A continuación, se presenta la situación del manejo de los RSU en las principales ciudades de Colombia:

- **Bogotá:** de acuerdo con el informe de disposición final de RSU [7], la capital es la ciudad que reporta el grado más alto de toneladas diarias de residuos recolectados, siendo alrededor de 6265 toneladas. Por tal motivo, la Secretaría de Hábitat y la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP) se unieron para crear un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos [8], que busca brindar mejores condiciones a la población recicladora, aplicar procedimientos de separación en la fuente para disminuir las toneladas de residuos en el relleno y la regulación de producción y consumo sostenible.
- **Medellín:** de acuerdo con el informe de disposición final de residuos sólidos 2017 [7], la capital antioqueña reportó 651.371 toneladas durante el año, lo que representa un aproximado de 1785 toneladas por día que se disponen en el relleno sanitario “Parque Ambiental la Pradera”, donde ocurre la disposición final de un total de 22 municipios. Por lo tanto, se estima que para el 2022 se haya alcanzado la capacidad máxima de dicho relleno según Emvarias (Empresas varias municipales de Medellín).
- **Barranquilla:** la ciudad en el 2017 reportó una disposición final de 634.770 toneladas anuales, lo que equivale a un aproximado de 1740 toneladas por día. Éstas son depositadas en el relleno sanitario “Los Pocitos” que entró en funcionamiento en el año 2009 y el cual se estima que mantenga estable su capacidad operativa durante los próximos 30 años, como lo afirma su director.

¹ **Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos:** de acuerdo con MAVDT, los planes de gestión integral de RSU son un instrumento de planeación municipal y regional que sirve para garantizar un mejoramiento constante en el manejo de los residuos y la prestación del servicio de aseo; por ello, al momento de formular el PGIRS se debe establecer una línea base teniendo en cuenta parámetros, proyecciones, elaboración de árbol de problemas y priorización de los mismos que lleven al establecimiento de unas metas y objetivos que sean alcanzables en los municipios.

- **Cali:** la capital vallecaucana en el 2017 reportó 689.609 toneladas de residuos anuales para un total de 1889 toneladas diarias que son dispuestos en el relleno sanitario Guabal, ubicado en el municipio Yotoco, el cual inició operaciones en el 2008 y recibe los residuos de 6 municipios. En este sentido, diseña su PGIRS para el periodo 2015 – 2027 que tiene como objetivo general “definir los lineamientos de planificación municipal para la prestación de servicio público de aseo y la Gestión Integral de los Residuos Sólidos” [7] adoptando 4 ejes transversales, los cuales hacen referencia a la sostenibilidad, estrategias para la comunicación, educación e información a la población, gestión de riesgo y desarrollo de estrategias para mitigación de gases de efecto invernadero.
- **Bucaramanga:** en 2017 la ciudad reportó 203.279 toneladas durante el año que equivalen a 557 toneladas de residuos diarios, los cuales llegan para su disposición final al relleno sanitario El Carrasco, junto con los residuos de 15 municipios más. Dicho lugar se encuentra, en la actualidad, desarrollando operaciones mediante la adecuación de dos celdas, para evitar una emergencia ambiental, puesto que su vida útil estaba programada hasta el 2007 [10]. Además, a través del PGIRS 2016 -2027, se desarrollan proyectos, considerando “aspectos técnicos, operativos, ambientales, institucionales, económicos y financieros asociados” de tal forma que a partir de acción conjunta se logre la sostenibilidad y reconociendo cada ente territorial su compromiso, responsabilidad y participación [11].
- **Pereira:** en esta ciudad, el problema de alta importancia a resolver en el largo plazo (12 años) es el de aprovechar los RSU de forma efectiva, debido a que la generación de residuos en el área urbana es de 469.7 toneladas por mes. A su vez, el aprovechamiento es nulo y la disposición final es completa sobre el relleno sanitario La Glorita; ubicado en el corregimiento de Combia, de acuerdo con el PGIRS [12]. Aun así, se ha logrado la caracterización del tipo de residuos que llegan al relleno, representando el 49% la materia orgánica y el 31% material reciclable; esto constituye un potencial para el aprovechamiento desde separación en la fuente y recolección selectiva. En este sentido, La Glorita cuenta con unos vasos que tienen un tiempo operativo estimado de acuerdo con la capacidad, por lo que a continuación se expone la vida útil en la tabla 1.

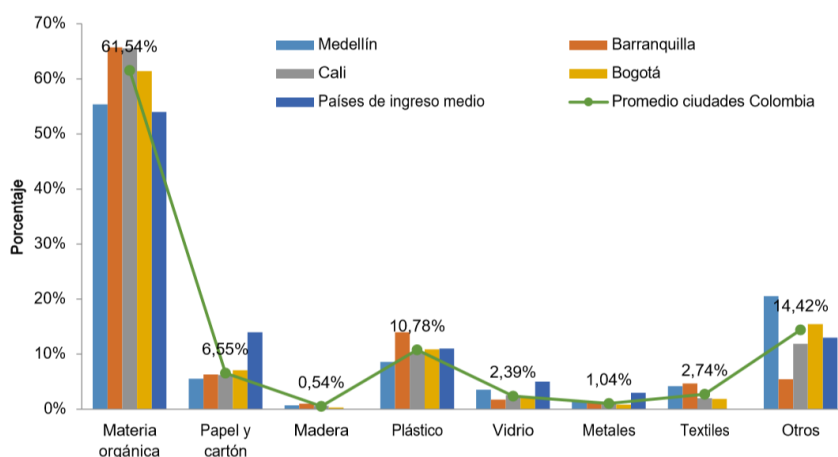
Tabla 1. Vida útil estimada del relleno sanitario “La Glorita”.

Nivel No.	Capacidad (m3)		Vida útil estimada		
	Por nivel (m3)	Acumulada (m3)	Meses	Fecha de Inicio	Fecha de cierre
Vaso 6	744.042,00	744.042,00	40,2	01-jul-11	03-nov-14
Vaso 7	510.542,00	1.254.584,00	27,1	04-nov-14	07-feb-17
Vaso 8	954.993,00	2.209.577,00	50	08-feb-17	10-Apr-2021
Domo	920.912,00	3.130.489,00	47,2	11-Apr-2021	18-mar-25

ATESA de Occidente S.A E.S.P. Plan de Manejo Ambiental, Relleno Sanitario “La Glorita” de Pereira. 2011.

Según información del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible expuesta en el CONPES [3], el 30% de los residuos producidos en el país cuentan con propiedades que pueden ser aprovechadas, ya que son materiales como papel, cartón, metal, vidrios, textiles o plástico. Hay que mencionar, además, que la información de las grandes ciudades demuestra que de los RSU un 61,5% son orgánicos que se componen principalmente por alimentos en sus diferentes etapas y los cuales llegan a los rellenos sanitarios aumentando el volumen de residuos, pero que podrían ser aprovechados. Es importante entonces tener una representación global de cómo se categorizan los residuos en Colombia, tal como se expone en el siguiente gráfico.

Figura 1. Caracterización de residuos sólidos en algunas ciudades de Colombia.



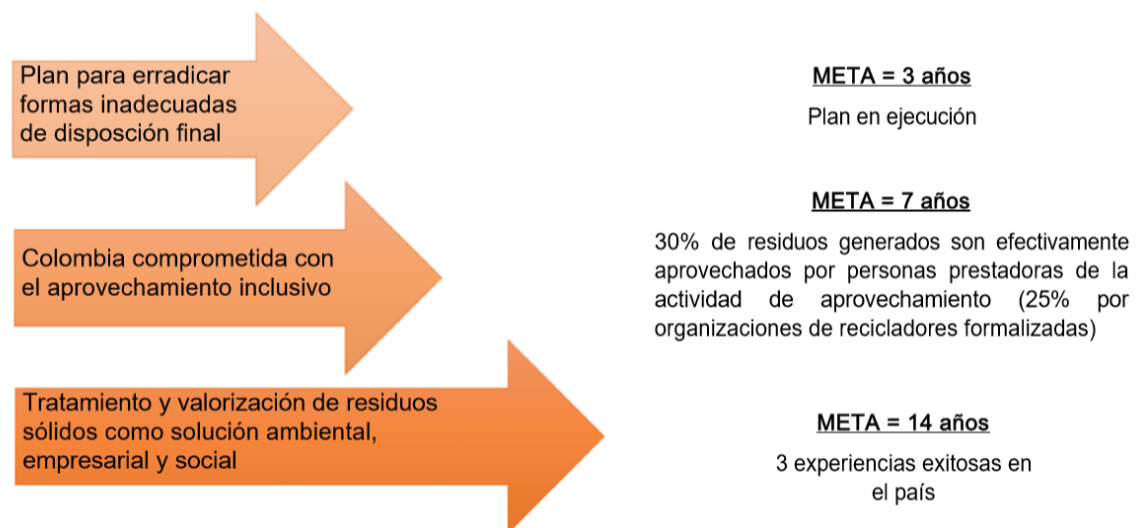
BID 2015 citado en CONPES 2016.

En relación con el manejo de residuos sólidos en Latinoamérica y El Caribe, Colombia es el país latinoamericano con la tasa más alta de reciclaje de papel y cartón, encontrando que se reciclan 57 toneladas por cada 100. En el país se producen, aproximadamente, 14.000 toneladas diarias de residuos sólidos [13]. Aun así, Sánchez [14] afirma que la situación de la disposición

final de residuos en el país se le ha dado poca prioridad, por lo que se ha realizado en botaderos a cielo abierto o cuerpos de agua. Además, los rellenos sanitarios presentan problemas graves ya que, según el autor, ninguno de estos en el país presenta las medidas de seguridad para residuos peligrosos. Así mismo, se presentan problemas con el proceso de recolección y disposición final de los residuos peligrosos que se realiza junto con los residuos domiciliarios.

Con el panorama descrito, se evidencian los compromisos que han asumido los municipios del país, pero es necesario que desde las metas propuestas se aporte al objetivo de la Política Nacional para la GIRS con el cual se pretende “contribuir al fomento de la economía circular, desarrollo sostenible, adaptación y mitigación al cambio climático” [15]. Por ello los procesos de seguimiento y evaluación de los PGIRS municipales deben ir en línea con las metas y etapas propuestas por la política nacional, que se muestran en la figura 2, apuntándole a una sostenibilidad global.

Figura 2. Etapas y metas de la Política Nacional para la GIRS.



DNP 2016.

3.3. Alternativas para el tratamiento de RSU

Con el fin de lograr la sostenibilidad y la GRSU, es necesario detenerse en las alternativas de tratamiento, de forma que sea posible discriminar la más apropiada respecto al impacto ambiental, eliminación adecuada y disposición final de las basuras. Esto encaminará los

diferentes grupos poblacionales a asumir mayor compromiso a la hora de consumir y comprar los diferentes productos que luego se convierten en desechos.

En esta misma línea, lo que debe permitir el tratamiento es la disminución del volumen y la adecuada separación para reducir el riesgo de toxicidad, para así proceder a eliminar esta. Por ello, se debe “usar una combinación de técnicas y programas capaces de conseguir el máximo aprovechamiento de los recursos y fracciones útiles contenidas en los distintos materiales de dichos residuos” [16].

Teniendo en cuenta los aspectos anteriores, las principales formas de tratamiento de los residuos son:

- **Relleno sanitario:** que consiste en enterrar los residuos después de las operaciones de cada día y aplicar técnicas de apisonamiento. En la actualidad se han establecido “distintos tipos de vertederos en función del grado de compactación que sufren los residuos o en función de la realización de procesos previos al vertido, como la trituración, además de la posibilidad de implantación de técnicas de reciclaje complementarias en la zona de vertedero” [16]. Además, a partir del relleno sanitario, se producen los lixiviados, siendo esto el principal problema ya que pueden llegar a las fuentes hídricas y tienen grandes componentes contaminantes.
- **La incineración:** se trata principalmente de quemar los residuos y reducirlos a cenizas, encontrando que “Las actuales técnicas de incineración permiten reducir el volumen de los residuos en un 90% y su peso en 75%, con la posibilidad de recuperar energía para reducir los costos de capital y de operación del equipo de control para la contaminación del aire” [16]. Aun así, para este tipo de tratamientos se requiere de largos procesos y altos costos respecto a la tecnología que se emplea.

Los tratamientos mencionados hacen parte de los métodos empleados tradicionalmente, pero han venido surgiendo otros métodos alternativos que representan importantes opciones respecto a sostenibilidad y manejo integral, los cuales son:

- **Recuperación y reciclaje:** consiste en un proceso de reutilización, en el cual los materiales se pueden emplear para fabricar otros nuevos, para reincorporarlos al

mercado o darles nuevo valor económico. Esta técnica surge de movimientos ambientales y de la conciencia de conservación.

- **El compost:** los residuos orgánicos representan un alto porcentaje respecto a la basura generada y de ser mal gestionados pueden producir una gran problemática ya que se descomponen rápido, producen importantes cantidades de lixiviados por su contenido de agua, pueden producir malos olores y problemas de salud pública. Por otro lado, el compost permitirá convertir dichos residuos en abono orgánico y evitar problemas de erosión del suelo.

Para concluir, el tratamiento de los residuos sólidos urbanos debe apuntar a la sostenibilidad, al cuidado y protección del medio ambiente, al aprovechamiento de los recursos y a los índices económicos. Además, las personas deben emplear, desde sus domicilios, técnicas de separación y moderar sus consumos.

3.4. Compost

El compost surge a partir de un proceso de descomposición de materia orgánica en el cual actúan microorganismos por presencia de oxígeno. De esta manera “Dentro del proceso para la obtención del abono hay dos fases: la de descomposición o fermentación, en la que una gran cantidad de compuestos biodegradables y la actividad de los microorganismos es máxima, y la fase de maduración o estabilización en la que la actividad de los microorganismos decae ya que está agotada la reserva de material biodegradable” [17], y es en ese momento donde surge el abono orgánico².

Para que los residuos orgánicos lleguen a ser capital natural, es necesario y clave una buena separación en fuente, porque estos representan la mayor cantidad en los desechos, tal como se observa en la figura 3 para una bolsa convencional. Si se logra una clasificación adecuada, se tendrá un aprovechamiento más elevado, además el proceso de degradación se iniciará más rápido.

² “El abono orgánico abarca los abonos elaborados con estiércol de ganado, compost rurales y urbanos, otros desechos de origen animal y residuos de cultivos. Los abonos orgánicos son materiales cuya eficacia para mejorar la fertilidad y la productividad de los suelos ha sido demostrada” [17].

Figura 3. Porcentaje de residuos orgánicos producida en una bolsa convencional.



Alcaldía Mayor de Bogotá – Universidad Nacional de Colombia / Facultad de Ciencias Agrarias. 2014.

Durante este proceso el residuo orgánico debe pasar por las siguientes etapas:

Fase mesófila: el proceso de compost empieza en condición de temperatura ambiente y por efecto de la actividad microbiana se eleva la temperatura hasta 40 °C. Esta etapa es importante porque permite eliminar patógenos y las semillas de mala hierba.

Fase termófila: a partir de 45 °C hasta 70 °C, aparecen bacterias termófilas que permiten prevenir crecimiento y destrucción de patógenos, donde se degradan moléculas complejas de carbono. Debido a la carga térmica por parte de la actividad microbiana se generará un producto final no colonizable.

Fase de enfriamiento: después de que la masa orgánica haya alcanzado su máxima temperatura, descenderá entre 45 a 40 °C, debido al agotamiento de fuentes de carbono. Por lo tanto, volverán a aparecer los organismos mesófilos para la degradación de polímeros como la celulosa.

Fase de maduración: periodo prolongado durante meses de la masa orgánica higienizada expuesta a temperatura ambiente, donde se producen reacciones secundarias para dar finalizado el proceso de compost.

Los parámetros que permiten el control y el adecuado procedimiento para producir compost deben estar en constante monitoreo. Las propiedades fisicoquímicas en las etapas que se desenvuelve la masa orgánica que afectan su crecimiento y su reproducción son las siguientes:

Temperatura: con el incremento de la actividad biológica en la masa orgánica se genera calor. Para observar el comportamiento, la capacidad de almacenamiento, la energía desprendible y las pérdidas de ésta, es necesario medir la temperatura repetidamente y así tener un control en cada una de las fases de descomposición; el rango debe estar entre los 40 y 70 °C.

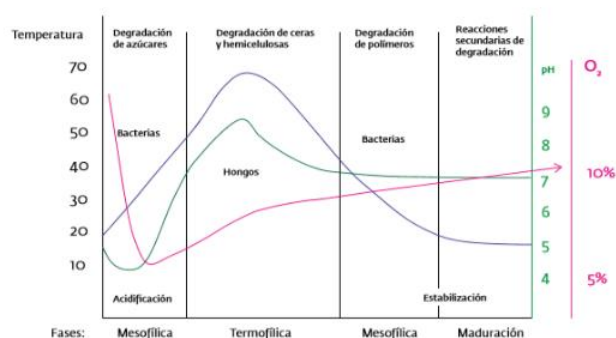
Humedad: el agua es el mecanismo de transporte de los nutrientes y es esencial para una adecuada descomposición de la materia orgánica. El porcentaje ideal está entre 45% y 60% [17]. Si se encuentra por debajo del 45% hay disminución de la actividad metabólica y no se alcanzará la temperatura para la fase mesófila. Como consecuencia, las otras fases no se alcanzarán. La manera de evitar esto es agregando frutas y verduras con alto contenido de agua. Por encima del 60% se interfiere la oxigenación, la temperatura sobrepasará los 70 °C y el producto final será inestable. Si se quiere evitar la saturación es necesario voltear la mezcla con inyección de aire.

Oxígeno: es un parámetro muy importante porque es el que permite que el residuo orgánico se pueda transformar en biomasa, dióxido de carbono, agua y compost. Por lo tanto, los microorganismos condicionan la evolución del proceso consumiendo oxígeno que debe ser repuesto. El rango ideal durante la degradación es entre 5% y 15% [17].

pH: este parámetro, que es la unidad de medida de una solución acuosa, da el grado de acidez o de alcalinidad. Esta propiedad define la supervivencia de los microorganismos y su rango ideal es de 5.8 a 7.2 [17].

Con los anteriores parámetros se puede observar el comportamiento de los desechos orgánicos a lo largo del tiempo. Así mismo se observa cómo interactúan cada una de las variables para la obtención de un abono orgánico. En la figura 4 se visualiza tal dinámica de degradación.

Figura 4. Dinámica de degradación en el proceso de compost.



3.5. Técnicas para producir compost

En el transcurso de los años se han diseñado diversos sistemas de compost y se pueden encontrar desde los tecnológicamente más sencillos hasta otros más complejos y automatizados. Ahora bien, no se trata de que unos sean mejores respecto a otros, realmente las características dependerán del tipo de proceso a llevar a cabo en la estación de compost, el tiempo que se proyecta emplear, el tipo de desechos y la capacidad de descomposición, así como la cantidad y el gasto energético.

Teniendo en cuenta que el compost se basa en un proceso biológico por actividad de microorganismos, el factor manipulable en dicho proceso es la aireación, por lo que los sistemas de compost se derivan de acuerdo con el control de dicho factor desde las variaciones tecnológicas, en este sentido los tipos de sistemas que se manejan son:

- **Sistemas abiertos:** hace referencia a aquellos donde el proceso ocurre al aire libre, siendo posible encontrar instalaciones bajo cubierta, pero en naves abiertas principalmente en zonas donde llueve frecuentemente.

Se conocen, dentro de los sistemas abiertos, las siguientes clases de instalaciones:

- a. **Pila móvil:** la oxigenación es posible mediante un volteo mecánico de la materia orgánica. La mezcla se remueve periódicamente para homogenizarla, regular la temperatura eliminando exceso de calor, regular la humedad y aumentar la porosidad para mayor ventilación. La frecuencia del volteo dependerá del material orgánico, la humedad y el tiempo estimado para realizar el proceso.
- b. **Pila estática:** no hay intervención mecánica por lo que la oxigenación se logra insuflando o succionando aire o a través de ventilación alternada de acuerdo con la temperatura. Por ello las pilas pueden ser con aireación pasiva, en la cual se emplean estructuras que permiten el flujo de aire desde la parte inferior de la pila hasta la parte superior y son ventiladas por convección natural. También, influye mucho el tamaño

de la pila, que dependerá de las partículas, humedad, porosidad y nivel de descomposición.

También hay pilas estáticas con aireación forzada que permiten tener mayor control de la oxigenación para favorecer la actividad microbiana en el proceso de descomposición, y consiste básicamente en vías de succión e insuflado por lo que el aporte de oxígeno se hace en ciertos intervalos de acuerdo con la actividad de un termostato.

- **Sistemas semiabiertos:** este tipo de sistemas implican un proceso que se desarrolla en naves cerradas y se caracteriza por vías de succión y envío de gases para tratamiento de depuración. Se diseñan para poder ser instaladas en la cercanía de las poblaciones y ser controladas en factores ambientales adversos. Además, permiten mejor aprovechamiento del espacio y control del proceso respecto a los sistemas abiertos.
 - a. **Compost en trincheras:** se disponen unas calles, trincheras o canales con ciertas características de longitud y altura de acuerdo con el proceso a desarrollar, el método de volteo es dinámico donde una volteadora pasa a través de los canales.
 - b. **Compost bajo lonas semipermeables:** se trata de la pila estática pero parcialmente confinada, es decir, la pila se cubre con una lona semipermeable y ventilada de tal forma que permita la demanda de oxigenación por tubería enterrada en el suelo. Las características de la lona permiten la liberación de humedad hacia el exterior, protege de condiciones meteorológicas, siendo una de sus ventajas la reducción de impacto ambiental porque controla los malos olores que surgen de la descomposición.
 - c. **Compost de baja dedicación:** es un sistema enmarcado más desde lo doméstico o como autocompost, que consiste en formar una pila de materia orgánica de acuerdo con el tipo de material y sus propiedades de descomposición, cuidando de lograr una humedad apropiada. Luego ésta se ha de cubrir con una lona anticésped, y al transcurrir cuatro semanas se hace volteo y se humecta por lo que se cubre de nuevo; al cabo de cuatro semanas se repite el proceso.

- **Sistemas cerrados:** estos sistemas más complejos (llamados reactores), basados en un circuito cerrado y donde no hay interacción con el exterior, por lo tanto, hay vías para la ventilación y el manejo de lixiviados. Por ende, se puede establecer un mejor control de las emisiones y de los diferentes parámetros para producir la materia orgánica residual. El principal inconveniente de estos sistemas es un elevado costo de inversión.
- **Compost en reactores dinámicos:**

Tambores: el proceso de degradación tiene lugar dentro de un tambor aislado térmicamente, con una rotación intermitente, donde el residuo es homogeneizado, aireado y desfibrilado. Cuenta con un sistema de ventilación como extractor de gases y elementos mecánicos para simular los efectos de volteo. Además, este dispositivo permite una mejor estabilización en el residuo orgánico aumentando la velocidad de transformación.

- **Compost en reactores estáticos:**

Son instrumentos más simples que los tambores ya que carecen de elementos mecánicos internos. Las dos clases más comunes son los contenedores y los túneles.

- a. **Contenedores:** son receptáculos cerrados, generalmente de acero con tratamiento anticorrosivo, con sistemas de ventilación y recogida de lixiviados. Tienen capacidad entre los 20 y 50 m³. Cuentan con la función de poder trasladarlos a otro lugar cuando alcanza su tope de almacenamiento.
- b. **Túneles:** construcción en forma de tubo generalmente fabricada en hormigón. Es ahí donde ocurre la transformación de los desechos orgánicos. Así mismo, cuenta con vías de ventilación controlada para el suministro de oxígeno y el trato de lixiviados. La vigilancia de los parámetros del proceso puede ser relevante si las sondas de temperatura y máquinas captadoras de gases son suficientes en número y están bien distribuidas.

3.6. Marco legal

En el mundo y en Colombia se han generado una serie de políticas, leyes y decretos que reglamentan el tratamiento de residuos sólidos urbanos, teniendo en cuenta los residuos orgánicos. En este sentido se describen los de mayor relevancia:

Ley 2811 de 1974 y Ley 9 de 1979. La primera se refiere a recursos naturales renovables y protección del medio ambiente y la segunda al código sanitario nacional. Con éstas se pretende fomentar procesos de reciclaje y modificar actividades de producción y consumo para disminuir la generación de residuos sólidos urbanos.

Ley 142 de 1994. Establece el régimen de servicios públicos domiciliarios, que incluye el servicio público de aseo y otras disposiciones.

Decreto 605 de 1996. Establece lineamientos para la adecuada prestación de un servicio de aseo desde su generación, almacenamiento, recolección y transporte, transferencia hasta su disposición final, así como sanciones y prohibiciones en la prestación del servicio.

Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos. Elaborada en 1997, por el Ministerio de Medio Ambiente. Contiene el diagnóstico de la situación de los residuos, principios específicos, objetivos y metas, estrategias y plan de acción, de tal manera que plantea la reducción desde la fuente de origen, aprovechamiento y valorización a partir del tratamiento y transformación final controlada buscando reducir peligros a los seres humanos y el medio ambiente.

Resolución 1096 de 2000. Señala los objetos técnicos que deben cumplir diseños, obras y procedimientos correspondientes a saneamiento básico y agua potable, así como actividades complementarias. Presenta definiciones de criterios de identificación de residuos urbanos, separación, almacenamiento, recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final.

La normativa expuesta ayuda a regular y garantizar la gestión integral de residuos, garantizando no solo la calidad de vida del hombre, sino también la sostenibilidad entendiendo "la necesidad de promover un balance e interdependencia entre las dimensiones económica, social y ambiental del desarrollo. Esto es un llamado para que Colombia fortalezca y se apropie de

una visión intersectorial en la formulación de acciones e intervenciones públicas de carácter transversal" (CONPES, p. 14)

4. Estaciones de compost

Una planta de compost es una instalación en la que se debe asegurar que, durante la degradación de la materia orgánica, el proceso se desarrolle correctamente, con el fin de obtener un producto de calidad y atenuar los impactos sobre el entorno natural. Por lo tanto, una de sus principales funciones desde el diseño debe ser minimizar los riesgos de contaminación.

Por otra parte, los aspectos a tener en cuenta en el diseño de una estación de compost son los siguientes: la conveniencia de su ubicación (zona elevada o deprimida), los tipos de residuos a tratar, la capacidad razonable de su instalación, la disponibilidad de sistemas de tratamientos de aire, el recorrido del material orgánico dentro de la planta, la necesidad de elaborar un estudio preliminar del posible impacto de olores en las zonas aledañas y su complejidad con respecto a la técnica para producir compost.

Este último sería la estrategia para garantizar un menor impacto de olor, debido a que es uno de los riesgos más recurrentes y con mayor relevancia para solucionar. Cabe recalcar que una estación con un sistema cerrado, donde se lleva a cabo la ventilación y captación de las emisiones, sería una mejor forma de contrarrestar y controlar este problema. Por el contrario, en uno abierto, no hay un debido control, proliferan las emisiones cuando la materia orgánica está descomponiéndose y el riesgo de impacto de olor es moderado a elevado.

En lo referente a la infraestructura es necesario definir una zona de seguridad, delimitaciones de la planta, lugares de almacenamiento, tecnología empleada, maquinaria disponible, tiempo para obtener compost, reducción de volúmenes de residuos, espacios para procesamiento, sistema de recogida de gestión de lixiviados, agua sucia y pluviales.

4.1. Factibilidad de una estación de compost

Antes de diseñar una planta de compost se debe analizar la inversión, ya que ésta requiere de importantes recursos. Por tanto, debe tener un adecuado funcionamiento y reducir los impactos ambientales, en lugar de generar gastos sin beneficios representativos. Sólo de esta manera podrá considerarse como proyecto presupuestal en cuanto al manejo de RSU del municipio, siendo plantas planeadas y operadas desde el factor de sostenibilidad.

Para reconocer si la planta de compost es realizable hay que analizar el mercado, ya que el compost es una forma de reciclaje de residuos orgánicos que se emplea sobre todo en agricultura, jardinería, parques municipales o como restauración de suelo, lo que permitirá saber si es potencial el producir abono orgánico como forma de obtener ganancias en el nicho ya mencionado.

Otro aspecto para tener en cuenta referente a la factibilidad para una estación de compost es la capacidad institucional, siendo necesario estudiar el hecho de que la planta es de tipo industrial y requiere permanente administración, monitoreo y mantenimiento, por lo que el municipio deberá evaluar y garantizar el funcionamiento continuo de las instalaciones.

Ahora bien, para que una planta de compost sea posible y una realidad, los aspectos a considerar no son únicamente de tipo operativo o económico. Hay otro rasgo que es el de la conciencia ciudadana, ya que es responsabilidad del ciudadano procurar la separación de residuos en la fuente, lo que facilitaría las operaciones en la planta, además mejoraría circunstancialmente el aprovechamiento de los residuos orgánicos.

Finalmente, las posibilidades de realización de la planta estarán garantizadas por el factor de financiamiento del proyecto, abarcando costo de instalación e inicio de funcionamiento de la planta, que incluye maquinaria, así como costos de operación, talento humano y actividades de mantenimiento. De esta forma se deben prever las fuentes de financiamiento, que pueden ser: recursos del gobierno nacional, departamental o municipal, entidad privada o banca de desarrollo.

4.2. Diseño de la planta

Uno de los factores para el diseño es la ubicación. Se recomienda que la instalación de la estación se encuentre alejada de núcleos habitados, cauces de los ríos, zonas inundables y zonas inclinadas. Además, se deben tener en cuenta vías de acceso en relación con el tráfico, la distancia a servicio de agua, energía, alcantarillado y la proximidad para desplazamiento a zonas urbanas donde se ha de llevar a cabo el proceso de recolección.

El mejor lugar por elegir debe ser precedido por un análisis previo en el que estén relacionados los siguientes aspectos:

Las unidades normativas que son instauradas por diversas leyes, reglamentos y normas vigentes en lo concerniente al uso del suelo, como los planes de ordenamientos territoriales y declaratorias de áreas naturales protegidas.

Por otra parte, la distancia promedio que recorren las materias primas al sitio de disposición final debe ser la más corta posible, para que no represente un costo adicional de transporte. También es necesario tener una distancia mínima al mercado de consumo para fomentar el uso de compost y disminuir el costo de transporte. Además, la creación de una red de distribución para extensas cantidades de compost representaría un beneficio adicional.

A su vez, se recomienda ubicar la estación en suelos con uso agropecuario o industrial y utilizar los terrenos más extensos disponibles ya que una planta de compost requiere enormes superficies.

4.3. Escala de la planta

La estimación esencial para establecer la escala de la estación productora de compost es la cantidad de materia orgánica a procesar. Una estimación inicial del tamaño puede ser de 1 hectárea por 10 a 30 toneladas de residuo por día [18]. Además, cabe señalar que los elementos como caminos y fuentes de agua pueden ser limitantes de la escala de la planta y dependen en gran medida del clima y las capacidades municipales.

En relación con lo anterior, para estimar el tamaño máximo de una estación de compost, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Determinar el área de influencia de la estación con respecto a la materia prima.
2. Determinar la materia prima máxima disponible en toneladas por año.
3. Determinar el modo de operación más oportuno; además estimar las necesidades de espacio, de acuerdo con los recursos disponibles.
4. Calcular el tamaño del predio.

4.4. Operaciones unitarias

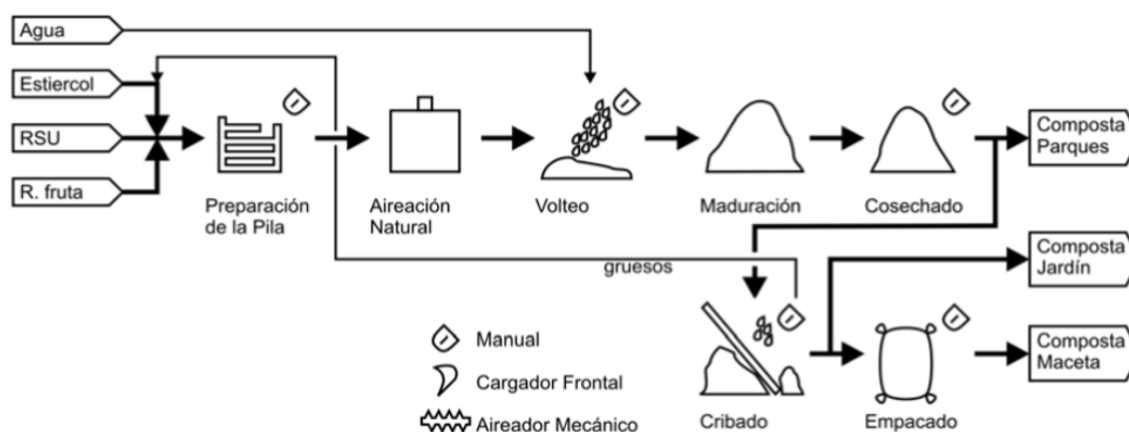
Las operaciones unitarias en ingeniería son aquellas etapas que implican transformación, adecuación y transporte de la materia prima y, por lo tanto, se diseñan independientemente. En estaciones modulares, una operación unitaria también se puede aprovechar para la fabricación de distintos productos. Las diferentes operaciones unitarias que una estación de compost puede tener son: separación de residuos, reducción de tamaño, formulación, transporte, degradación, aireación, humectación, pasteurización, maduración, cribado, secado y empaçado.

La unión de estas operaciones unitarias y la utilización de distintos equipos y estrategias de ubicación generan una gran diversidad para la construcción y la operación de una estación de compost.

4.5. Planta de operación manual

La estación más simple es la que se diseña con operación totalmente manual y con el mínimo de personal posible. Esta clase de planta puede generar hasta 50 toneladas por año de compost. Los procesos se intervienen manualmente con herramienta y se excluyen aquellos que involucren el uso de maquinaria. El dispositivo de control mínimo en estas plantas es un termómetro de bayoneta. La figura 5 muestra el diseño de una planta de este tipo.

Figura 5. Diagrama de proceso de una estación de compost de operación manual.



Manual de compostaje municipal, 2006.

4.6. Plantas parcialmente mecanizadas

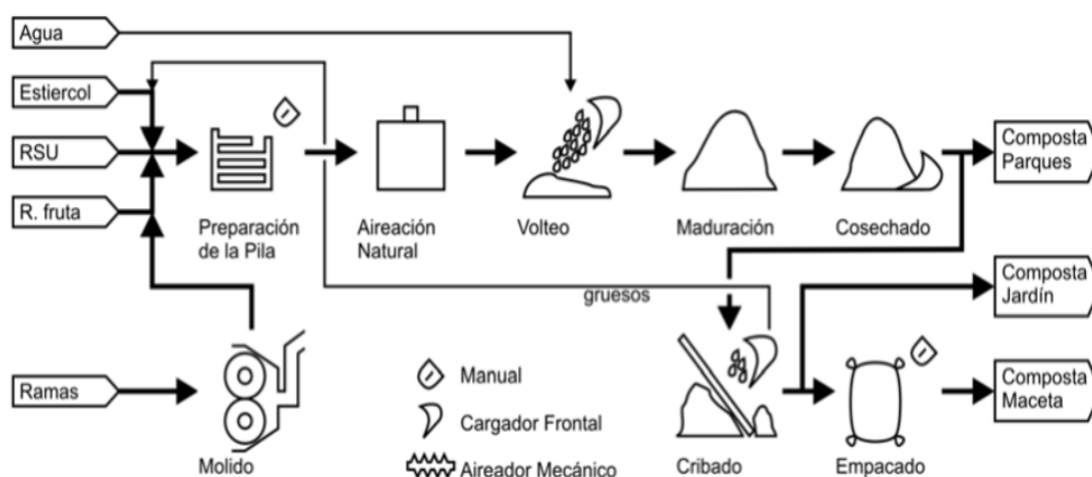
En esta estación la maquinaria apoya diversas operaciones unitarias. Generalmente, se emplea cargador frontal simple o retroexcavadora. Puede usarse como opción para plantas pequeñas; aun así, no se recomienda si supera las 500 toneladas por año, ya que se puede deteriorar rápidamente, por lo tanto, los cargadores frontales se deben elegir de acuerdo con la capacidad de la planta.

En línea con lo anterior, los cargadores frontales son de relevante importancia en la planta de compost ya que funcionan con sistemas de pilas al aire libre, incluyendo aquellos sistemas sofisticados respecto a la aireación y humectación; en este sentido lo que permiten los cargadores frontales es el transporte. También en naves cerradas se continúa empleando para el traslado de algunas secciones; sin embargo, no resulta tan útil cuando hay maquinaria diseñada específicamente para procesos de aireación, humectación y transporte.

Además de los cargadores frontales, en plantas parcialmente mecanizadas, también se suelen usar molinos de ramas que cumplen con la función de transformar en astillas, ramas de poda o residuo vegetal la materia orgánica. Otros elementos esenciales en estas plantas son equipos como bombas y depósitos de agua, generadores de energía, equipos de control como termómetro, medidor de pH y humedad, báscula y criba.

La figura 6 ilustra una planta parcialmente mecanizada que incluye un cargador frontal con retroexcavadora y un molino de ramas.

Figura 6. Diagrama de proceso de una estación de compost parcialmente mecanizada

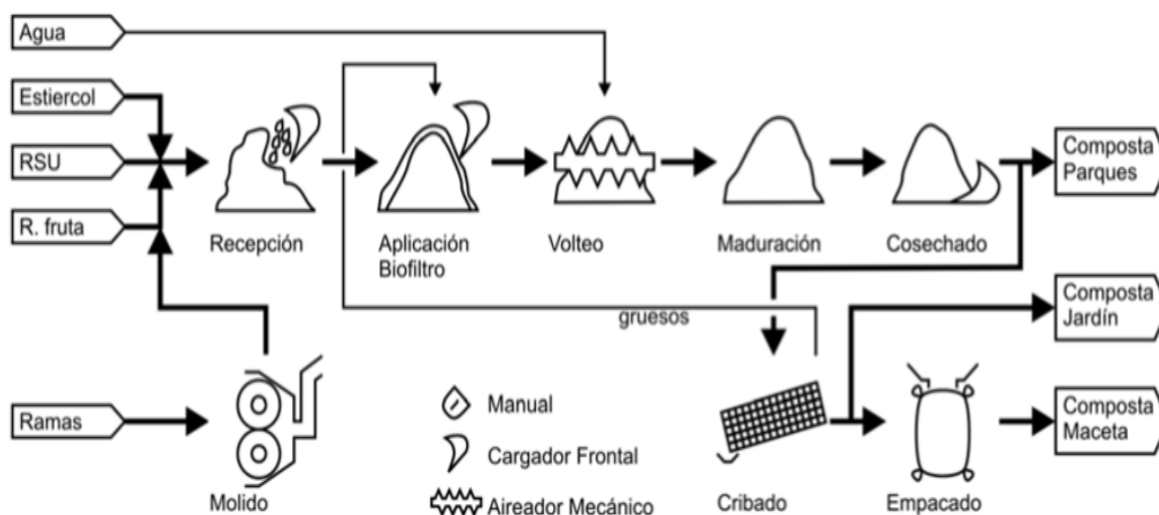


4.7. Plantas mecanizadas

Las estaciones mecanizadas cuentan con equipos especializados que, al mismo tiempo que trasladan y giran, otorgan el oxígeno y el agua necesarios para el compost. Estas plantas se pueden clasificar en: las que operan en pilas, en naves cerradas y en reactores. Una combinación de estos métodos es la mejor opción, pero requiere de un conocimiento muy especializado del proceso.

La estación mecanizada más sencilla es la que opera en pilas. En éstas se utiliza un cargador frontal para el transporte de los materiales con ayuda de un equipo de volteo, de esta manera atravesará un biofiltro y luego será aireado mecánicamente. Después se utiliza una criba y por último una cosedora mecánica de sacos. En la figura 7 se puede observar el diagrama de proceso de una planta de este tipo. Como se observa, es muy similar a la mostrada en la figura 6, sólo que en ésta el equipo para ser instalado es diferente. Este tipo de planta puede procesar más de 1000 toneladas por año.

Figura 7. Diagrama de proceso de una planta de compost mecanizada en pilas



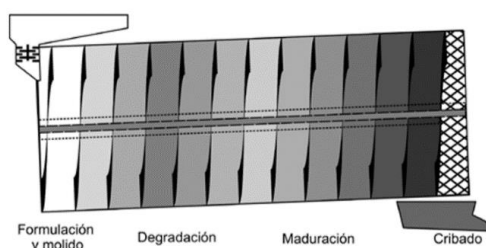
Manual de compostaje municipal, 2006.

También, se puede emplear maquinaria especializada establecida en una nave industrial cerrada. Con esta configuración, se puede observar y controlar con mayor exactitud el proceso de degradación. En estos equipos con temperatura y humedad controlada, en algunas situaciones se continúa trabajando con el cargador frontal como forma de transporte.

Este equipo especializado consta de tornillos sinfín, cangilones, bandas transportadoras, tuberías, bombas y aspersores, los cuales se instalan en el techo de la nave. Comúnmente no se lleva a cabo la maduración del compost dentro de las naves.

La maquinaria más avanzada para el compost es el reactor; ya sea cilíndrico o rectangular, donde de forma continua se agregan los materiales, el agua, y el aire. En la figura 8 se puede observar un tambor con sus respectivas operaciones unitarias. Estos dispositivos pueden trabajar desde algunos kilogramos hasta miles de toneladas al año.

Figura 8. Esquema de un reactor cilíndrico para compost



Manual de compostaje municipal, 2006.

La estación se puede tecnificar aún más para aumentar eficiencias y capacidad de procesamiento; sin embargo, el cambio de equipo en una operación unitaria puede afectar todo el proceso haciendo necesario el cambio de otros equipos.

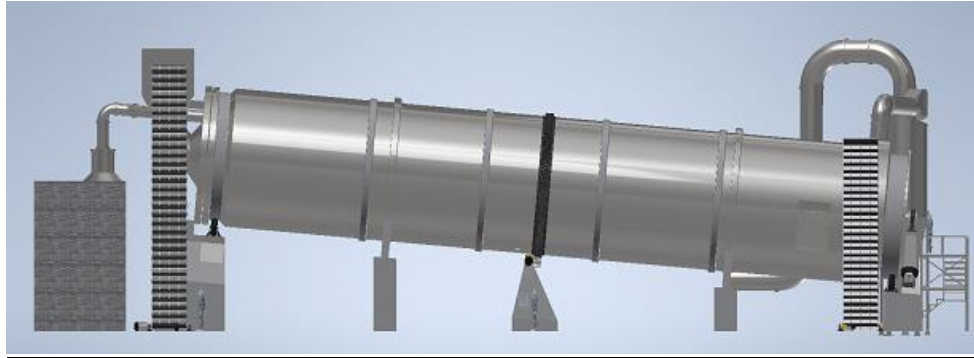
Dada la prioridad de convertir grandes cantidades de desechos orgánicos, el componente principal de la planta diseñada en el presente trabajo será un reactor cilíndrico inclinado, donde se producirá compost en volúmenes industriales. El proceso de degradación en esta técnica empezará desde el primer día, y los desechos se trasformarán en abono en seis a ocho días aproximadamente; además la masa será homogénea.

5. Diseño de la estación generadora de compost

La planta productora de compost mostrada en la figura 9 queda establecida de la siguiente manera: consta de un reactor industrial con sistema de transmisión de potencia por engranajes rectos; gira a una velocidad de 0.5 r/min, consumiendo 45 kW. Con respecto a la automatización se hace necesario un PLC para el sistema de arranque. Así mismo, se necesitan bandas trasportadoras para el traslado de la materia orgánica. Adicionalmente cuenta con un colector de polvo y contaminantes para su respectiva depuración. En este diseño no se ha

establecido el sistema de aireación y suministro de oxígeno, tampoco el sistema de empaque, pero éstos son complementos importantes para el funcionamiento de la estación. Este sistema se diseñó para tratar aproximadamente 46.297×10^3 kg de materia orgánica.

Figura 9. Estación generadora de compost.



Elaboración propia.

5.1. Diseño del reactor aeróbico

Para el diseño del tambor giratorio se ha considerado la cantidad de RSU generados en la ciudad de Pereira, que en total es de 469.7×10^3 kg por mes, la densidad promedio de los desechos orgánicos es de 640 kg/m^3 [19]. Por otra parte, para este tambor giratorio se diseña con la masa de $434,534 \times 10^3$ kg de materia orgánica, como dato inicial. A continuación, se calcula el volumen:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (1)$$

$$V = \frac{434,534 \times 10^3 \text{ kg}}{640 \text{ kg/m}^3}$$

$$V = 678.96 \text{ m}^3$$

Se asume un 20 % adicional ($V = 814.75 \text{ m}^3$)

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 L \quad (2)$$

Se asume una relación entre el diámetro y la longitud del reactor recomendable $L = 5D$ [20] que se reemplazará en la ecuación (2) y luego de despejar el diámetro se obtiene la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot 5D \rightarrow D = \left(\frac{4V}{5\pi}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

5.1.1. Diámetro del reactor

$$D = \left(\frac{4(814.75 \text{ m}^3)}{5\pi} \right)^{\frac{1}{3}} \rightarrow D \approx 5.92 \text{ m}$$

$$L = 5D \rightarrow L = 5(5,92), \quad L \approx 29.6 \text{ m}$$

De acuerdo con la bibliografía técnica, aplicando el código ASME [20], la expresión matemática es la siguiente:

$$V_{Tapa} = 0.1 \cdot D^3 + 0.7854 \cdot hc \cdot D^2 \quad (4)$$

Con $hc = 0.51$ m

$$V_{Tapa} = 0.1 \cdot (5.92 \text{ m})^3 + 0.7854 \cdot 0.51 \text{ m} \cdot (5.92 \text{ m})^2$$

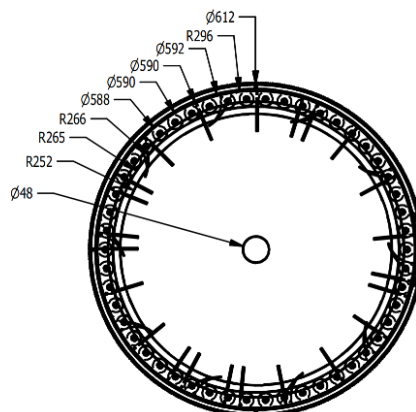
$$V_{Tapa} = 34.78 \text{ m}^3$$

$$V_{reactor+tap a} = 814.75 \text{ m}^3 + 34.78 \text{ m}^3 = 849.53 \text{ m}^3$$

5.1.2. Volumen del reactor

Dado que el reactor es un cilindro hueco; se calcula como la resta entre el volumen externo del reactor (cilindro completo con tapas y accesorios) y el volumen interno (diámetro interno: 588 cm).

Figura 10. Reactor con medidas en cm.



Elaboración propia.

Entonces: $V_{\text{reactor+tapa}} = 849.53 \text{ m}^3$

$$V_{diámetro\ interno} = \frac{\pi}{4} (5.88\text{ m})^2 (29.6\text{ m}) = 803.78\text{ m}^3$$

$$V_{hueco} = 849.53 \text{ m}^3 - 803.78 \text{ m}^3 = 45.75 \text{ m}^3$$

Una vez hallado el volumen del recipiente, es necesario agregar el volumen de los refuerzos estructurales que se observan en la figura 10.

Figura 11. Reactor con refuerzos estructurales.



Elaboración propia.

Puesto que el tanque tiene cuatro refuerzos alrededor, se procede a calcular el volumen con un diámetro externo de 6.12 m y el interno de 5.92 m (ver figura de reactor con medidas) con una longitud de 0.26 m.

$$V_{ref} = (4) \frac{\pi}{4} (6.12 \text{ m} - 5.92 \text{ m})^2 (0.26 \text{ m})$$

$$V_{ref} = 0.033 \text{ m}^3$$

$$V_{hueco+ref} = 45.75 \text{ m}^3 + 0.033 \text{ m}^3 = 45.78 \text{ m}^3$$

Se procede a calcular la masa con acero inoxidable austenítico AISI 316 que tiene una densidad de 7960 kg/m³ (ver anexo 1).

$$\text{masa}_{\text{reactor}} = \rho_{\text{AISI 316}} \cdot V_{hueco+ref} = 7960 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 45.78 \text{ m}^3 = 364.41 \times 10^3 \text{ kg}$$

Es necesario conocer la masa completa (masa del reactor más masa a tratar), según AIChE [21]³ en pleno funcionamiento, se debe llenar entre el 5 % y el 17.5 % del volumen total del

³ Dado que el secador es muy similar a el reactor; dada su capacidad industrial, su diseño, rotación y que poseen elevadores. Se seguirá los lineamientos ofrecidos por el artículo AIChE.

recipiente. Por lo tanto, el volumen total (diámetro interno = 5.88 m) es igual a 803.78 m³. A continuación, los volúmenes a dichos porcentajes:

$$V_{\text{lleno}17.5\%} = 140.66 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{lleno}5\%} = 40.19 \text{ m}^3$$

Entonces, con la densidad de los desechos orgánicos, se procederá a calcular la masa a tratar: $\rho = 640 \text{ kg/m}^3$. Así mismo, con un volumen lleno entre 5 % y el 17.5 % la masa a tratar estará en el siguiente rango:

$$masa_{\text{completa}17.5\%} = \rho v = \frac{640 \text{ kg}}{\text{m}^3} \cdot 140.66 \text{ m}^3 = 90.02 \times 10^3 \text{ kg}$$

$$masa_{5\%} = \frac{640 \text{ kg}}{\text{m}^3} \cdot 40.19 \text{ m}^3 = 25.72 \times 10^3 \text{ kg}$$

Por ende, la masa completa estará en el siguiente rango:

$$masa_{\text{completa}17.5\%} = 364.41 \times 10^3 \text{ kg} + 90.02 \times 10^3 \text{ kg} = 454.43 \times 10^3 \text{ kg}$$

$$masa_{\text{completa}5\%} = 364.41 \times 10^3 \text{ kg} + 25.72 \times 10^3 \text{ kg} = 390.13 \times 10^3 \text{ kg}$$

Para este sistema se trabajará con un volumen lleno del 9 %, entonces:

$$V_{\text{lleno}9\%} = 72.34 \text{ m}^3$$

$$masa_{9\%} = \frac{640 \text{ kg}}{\text{m}^3} \cdot 72.34 \text{ m}^3 = 46.297 \times 10^3 \text{ kg}$$

$$masa_{\text{completa}9\%} = 364.41 \times 10^3 \text{ kg} + 46.29 \times 10^3 \text{ kg} = 410.7 \times 10^3 \text{ kg}$$

5.2. Cálculo de la potencia y sistema de transmisión

De acuerdo con AIChE [21] se puede tener un valor más aproximado de la potencia con la siguiente ecuación:

$$Pot_{\text{rotación}} = \frac{N[34.3 \cdot D \cdot w + 1.39(D+0.6)W + 0.73 \cdot W]}{2,234} \quad [\text{kW}] \quad (5)$$

Donde:

N = velocidad de rotación en r/s, se ha elegido que el reactor se mueva a $N = 0.44 \text{ r/min}$

D = diámetro en m

W = masa del reactor lleno en kg

w = masa a tratar en kg

Entonces, con un volumen completo de 9 % se obtiene la siguiente potencia:

$$masa_{9\%} = 46.297 \times 10^3 \text{ kg} = w$$

$$W = masa_{\text{completa}9\%} = 410.7 \times 10^3 \text{ kg}$$

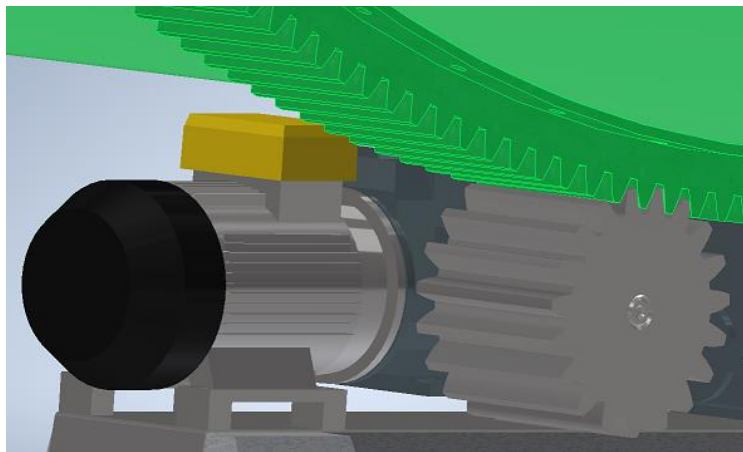
$$Pot_{rotación} = \frac{0.44[(34.3 \cdot 5.92 \cdot 46.297 \cdot 10^3) + (1.39(5.92 + 0.6)410.7 \cdot 10^3) + 0.73 \cdot (410.7 \cdot 10^3)]}{2,234 \cdot 60}$$

$$Pot_{rotación} = 44.0 \text{ kW}$$

5.2.1. Esquema de la transmisión

La transmisión va a constar de un motorreductor helicoidal y de una transmisión de dientes rectos con un piñón que le transmite la potencia a la corona que va instalada en el reactor; se puede observar el esquema en la figura 12.

Figura 12. Sistema de transmisión de potencia.



Elaboración propia.

5.2.2. Selección del motorreductor

Del catálogo de NORD⁴ se ha elegido el motorreductor con una potencia de 45 kW, velocidad de salida $n_2 = 6.6 \text{ r/min}$, con un par de torsión de 65390 Nm (Ver anexo 2). Por lo tanto, se halla la relación de transmisión:

$$i_{\text{piñon-rueda}} = \frac{N_{(\text{motorreductor})}}{N_{\text{reactor}}} = \frac{6.6 \text{ r/min}}{0.44 \text{ r/min}} = 15$$

5.2.3. Cálculo de la transmisión dentada

Determinación de la distancia entre centros preliminar

Dado que no se conoce el diámetro primitivo de la corona, se asume que el diámetro exterior del reactor más 5 veces la altura del diente sea el valor preliminar.

⁴ Ver en línea: https://www.nord.com/cms/media/documents/bw/G1000_IE2_60Hz_EN_2815.pdf

$$D_{pcorona} = D_{extreactor} + 5h$$

$$h = 2.25 \cdot (\text{módulo}) \quad (\text{Altura del diente})$$

$$D_{pcorona} = 5.92 \text{ m} + 5(2.25 \cdot m) \quad (6)$$

Para el caso del módulo, se asumirá un valor de 22 mm, por ende:

$$D_{pcorona} = 5.92 \text{ m} + 5(2.25 \cdot 0.022 \text{ m})$$

$$D_{pcorona} = 6.1675 \text{ m} = 6167.5 \text{ mm}$$

Definido el diámetro primitivo de la corona y con la relación de transmisión determinada, se calcula el diámetro primitivo del piñón y luego la distancia entre centros, de la siguiente manera:

$$D_{ppiñón} N_{motorreductor} = D_{pcorona} N_{reactor} \quad (7)$$

$$D_{ppiñón} = \frac{D_{pcorona} N_{reactor}}{N_{motorreductor}} = \frac{(6167.5 \text{ mm})(0.44 \text{ r/min})}{6.6 \text{ r/min}} = 411.166 \text{ mm}$$

$$A = \frac{D_{pcorona} + D_{ppiñón}}{2} = \frac{6167.5 \text{ mm} + 411.166 \text{ mm}}{2} = 3289.33 \text{ mm}$$

Determinación de los números de dientes de las ruedas dentadas

Se tiene que:

$$i_{piñón-rueda} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (8)$$

$$Z_1 + Z_2 = \frac{2A}{m} \quad (9)$$

$i_{piñón-rueda} \cdot Z_1 = Z_2$ reemplazando en la ecuación 9, entonces:

$$Z_1 + i_{piñón-rueda} \cdot Z_1 = \frac{2A}{m} \quad (10)$$

Reemplazando los valores en la ecuación 10:

$$Z_1 + 15 \cdot Z_1 = \frac{2 (3289.33 \text{ mm})}{22 \text{ mm}}$$

$$Z_1 = 18.68$$

$$Z_2 = 280.34$$

Se estandarizan (valores enteros)

$$Z_1 = 19$$

$$Z_2 = 280$$

Se cumple que Z_1 es mayor al número mínimo de dientes para evitar interferencia.

Precisión de la distancia entre centros

Se debe recalcular la distancia entre centros con la ecuación 9, entonces:

$$A = \frac{m(Z_1 + Z_2)}{2} = \frac{22 \text{ mm} (19 + 280)}{2}$$

$$A = 3289 \text{ mm}$$

Diámetros primitivos de los engranes

Los diámetros primitivos son:

$$D_1 = mZ_1 = (22 \text{ mm}) \cdot (19) = 418 \text{ mm}$$

$$D_2 = mZ_2 = (22 \text{ mm}) \cdot (280) = 6160 \text{ mm}$$

Para continuar y poder aplicar la norma AGMA, se debe calcular la razón de contacto, la cual está determinada por la siguiente ecuación [22]:

$$r_c = \frac{\sqrt{R_{e2}^2 - R_{b2}^2} + \sqrt{R_{e1}^2 - R_{b1}^2} - A \sin \alpha}{P_c \cdot \cos \alpha} \quad 1 < r_c < 2$$

De donde:

$$R_{e1} = \frac{D_1 + 2 \cdot m}{2} = \frac{418 \text{ mm} + 2(22 \text{ mm})}{2}$$

$$R_{e2} = \frac{D_2 + 2 \cdot m}{2} = \frac{6160 \text{ mm} + 2(22 \text{ mm})}{2}$$

$$R_{b1} = \frac{D_1 \cdot \cos \alpha}{2} = \frac{418 \text{ mm} \cdot \cos 20^\circ}{2}$$

$$R_{b2} = \frac{D_2 \cdot \cos \alpha}{2} = \frac{6160 \text{ mm} \cdot \cos 20^\circ}{2}$$

$$P_c = m \cdot \pi = 22\pi \text{ mm}$$

$$r_c = \frac{\sqrt{\left(\frac{6160 + 2(22)}{2}\right)^2 - \left(\frac{6160 \cdot \cos 20^\circ}{2}\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{418 + 2(22)}{2}\right)^2 - \left(\frac{418 \cdot \cos 20^\circ}{2}\right)^2} - 3289 \sin 20^\circ}{22\pi \cdot \cos 20^\circ}$$

$$r_c = 1.73709$$

5.2.3.1. Esfuerzos a flexión AGMA

Dado que se cumple con el rango establecido y las demás validaciones, se procede a calcular la resistencia a los esfuerzos variables por flexión. Se utilizará la ecuación de esfuerzos a flexión AGMA [22].

$$S_b = \frac{Q_t}{BmJ} \frac{K_a K_m}{K_v} K_s K_B K_I \quad (11)$$

Donde:

J = Factor geométrico que tiene en cuenta la geometría y la concentración de esfuerzos.

K_v = El Factor de velocidad considera cargas por vibración generadas internamente por impactos de los dientes.

K_m = Factor que considera la distribución no uniforme de la carga sobre el ancho del diente.

K_a = Factor que considera cargas dinámicas, debidas a las máquinas que tienen pares de torsión o fuerzas variando con el tiempo.

K_s = Factor de tamaño. Dado que AGMA no ha establecido normas sobre este factor; $K_s = 1$.

K_b = Factor de espesor de aro que considera la posibilidad de falla del aro.

K_I = Factor de engranaje intermedio o loco. Dado que no hay engranaje loco, se considera $K_I = 1$.

Por lo tanto, para hallar J :

En la figura 14-6 de Shigley [23] suministra información para obtener el factor geométrico, con base en el número dientes del piñón y la corona y un ángulo de presión de 20° .

Según la gráfica (Ver anexo 3), $J_1 = 0.34$ y $J_2 = 0.46$.

Para K_v :

Es necesario conocer la velocidad periférica y el número de calidad AGMA, ya que con estos datos remitidos a la figura 11-22 de Norton [22], se encuentra dicho factor.

La velocidad periférica de los engranajes está dada por:

$$V_p = \pi D_2 n_{reactor} = \pi D_1 n_{motorreductor} = \pi (0.418 \text{ m}) \cdot \left(\frac{6.6 \text{ rev}}{\text{min}} \cdot \frac{\text{min}}{60 \text{ s}} \right) = 0.144 \text{ m/s}$$

$$V_p = 28.435 \text{ fpm}$$

Para esta velocidad, se elige de la tabla 11.7 de Norton [22] un número de calidad AGMA de 6. Por ende, $K_v = 0.92$ (Ver anexo 4).

Para K_m :

Se debe conocer el ancho de la cara, según la siguiente validación:

$$8m < B < 16m$$

Se supone lo siguiente para el ancho de cara del piñón:

$$B = 16 \cdot m = 16 \cdot (22 \text{ mm}) = 352 \text{ mm}, K_m = 1.8 \text{ (Ver anexo 5)}.$$

Para K_a :

$$K_a = 1.25 \text{ (Ver anexo 6)}$$

Para K_b :

$$K_b = -2m_b + 3.4, \quad 0.5 \leq m_b \leq 1.2$$

$$\text{Donde } m_b = \frac{t_R}{h_t} = \frac{\text{dedendum}}{\text{addendum}}; \quad \text{adendum} = m = 22 \text{ mm}, \quad \text{dedendum} = \frac{7}{6}m = \frac{7}{6}(22 \text{ mm})$$

$$m_b = \frac{\frac{7}{6}(22 \text{ mm})}{22 \text{ mm}} = 1.167; \quad K_b = -2(1.167) + 3.4 = 1.067$$

Para Q_t :

El par de torsión se observa en el catálogo del motorreductor, por lo tanto:

$$Q_t = F_t = \frac{2T_1}{D_1} = \frac{2(65390 \text{ N} \cdot \text{m})}{0.418 \text{ m}} = 312.870 \times 10^3 \text{ N} \quad (12)$$

Reemplazando en la ecuación 11 de AGMA, para cada una de las J del piñón y corona, entonces:

$$S_{b1} = \frac{312,870 \times 10^3 \text{ N}}{(352 \text{ mm})(22 \text{ mm})(0.34)} \frac{(1.25)(1.8)}{0.92} (1)(1.067)(1)$$

$$S_{b1} = 310.08 \text{ MPa}$$

$$S_{b2} = \frac{312,870 \times 10^3 \text{ N}}{(352 \text{ mm})(22 \text{ mm})(0.46)} \frac{(1.25)(1.8)}{0.92} (1)(1.067)(1)$$

$$S_{b2} = 229.12 \text{ MPa}$$

5.2.3.2. Resistencia a la fatiga por flexión AGMA (S_{fb}')

Se diseñará con un acero grado 2 de AGMA (Ver anexo 7); con la ecuación de esta gráfica se obtendrá el valor de S_{fb}' . Además, se eligió una dureza de 400 HB endurecido en la masa para el piñón y para la corona una dureza de 360 HB; con el fin de que tengan un desgaste parejo.

$$S_{fb1}' = 6235 + 174HB - 0.126HB^2 = 6235 + 174(400) - 0.126(400^2) = 55675 \frac{lb_f}{in^2}$$

$$S_{fb1}' = 55675 \frac{lb_f}{in^2} \cdot \frac{6.985 KPa}{\frac{lb_f}{in^2}} \cdot \frac{1 MPa}{1000 KPa} = 388.89 \text{ MPa}$$

$$S_{fb2}' = 6235 + 174HB - 0.126HB^2 = 6235 + 174(360) - 0.126(360^2) = 52545 \frac{lb_f}{in^2}$$

$$S_{fb2}' = 52545 \frac{lb_f}{in^2} \cdot \frac{6.985 KPa}{\frac{lb_f}{in^2}} \cdot \frac{1 MPa}{1000 KPa} = 367.02 \text{ MPa}$$

5.2.4. Diseño por esfuerzos variables a flexión

$$S_b < S_{fb} = \frac{K_L}{K_T K_R} S_{fb}' \quad (13)$$

S_{fb}' = esfuerzo permisible a flexión AGMA

S_{fb} = esfuerzo permisible a flexión corregido

S_b = esfuerzo máximo a flexión AGMA

K_L = factor de vida, K_T = factor de temperatura, K_R = factor de confiabilidad

El factor de vida K_L se determina según el anexo 8. Se calculará el número de ciclos N para una vida requerida de 20 años y un turno.

$$N_{piñón} = 6.6 \text{ r/min} \cdot \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \right) \cdot \left(\frac{2080 \text{ h}}{\text{turno} \cdot \text{año}} \right) \cdot (20 \text{ años}) \cdot (1 \text{ turno}) = 16.47 \times 10^6$$

$$K_{L1} = 1.3558 N^{(-0.0178)} = 1.3558 \cdot (16.47 \times 10^6)^{(-0.0178)} = 1.009$$

$$N_{corona} = 0.44 \text{ r/min} \cdot \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \right) \cdot \left(\frac{2080 \text{ h}}{\text{turno} \cdot \text{año}} \right) \cdot (20 \text{ años}) \cdot (1 \text{ turno}) = 1.098 \times 10^6$$

$$K_{L2} = 1.3558 N^{(-0.0178)} = 1.3558 \cdot (1.098 \times 10^6)^{(-0.0178)} = 1.059$$

Para K_T , en este caso es acero, entonces $K_T = 1$.

Para K_R , según las normas AGMA es de 99%, ver anexo 9, entonces $K_R = 1$

$$S_{fb1} = \frac{K_L}{K_T K_R} S_{fb'} = \frac{1.009}{(1)(1)} (388.89 \text{ MPa}) = 392.39 \text{ MPa}$$

$$S_{fb2} = \frac{K_L}{K_T K_R} S_{fb'} = \frac{1.059}{(1)(1)} (367.02 \text{ MPa}) = 388.67 \text{ MPa}$$

Factores de seguridad:

$$N_{b1} = \frac{S_{fb1}}{S_{b1}} = \frac{392.39 \text{ MPa}}{310.08 \text{ MPa}} = 1.27$$

$$N_{b2} = \frac{S_{fb2}}{S_{b2}} = \frac{388.67 \text{ MPa}}{229.12 \text{ MPa}} = 1.69$$

5.2.5. Esfuerzos superficiales o resistencia a la picadura de AGMA

$$S_c = C_p \sqrt{\left(\frac{Q_t}{BID}\right) \left(\frac{C_a C_m}{C_v}\right) (C_s C_f)} \quad (14)$$

Donde:

S_c = esfuerzo máximo de compresión por contacto

Q_t = fuerza tangencial, B = ancho del diente

D_1 = diámetro primitivo del piñón

D_2 = diámetro primitivo de la corona

$C_a = K_a = 1.25$, $C_m = K_m = 1.8$, $C_v = K_v = 0.92$ y $C_s = K_s = 1$

(factores de aplicación, de distribución de carga, dinámico y de tamaño)

I = Factor de geometría superficial que toma en consideración los radios de curvatura de los dientes del engrane y el ángulo de presión

C_p = coeficiente elástico

C_f = factor de acabado superficial

El factor de geometría I superficial se calcula de la siguiente manera:

$$I = \frac{\cos \alpha}{\left(\frac{1}{\rho_p} \pm \frac{1}{\rho_g}\right) D_1} \quad (15)$$

Donde:

ρ_p y ρ_g son los radios de curvatura de los dientes del piñón y la rueda

α = ángulo de presión

D_I = diámetro primitivo del piñón

Para la ecuación #: se toma el signo superior, puesto que son engranajes externos.

Se procede a calcular los radios de curvatura:

$$\rho_p = \sqrt{(R_p + (1 + X_p)m)^2 - (R_p \cos \alpha)^2} - \pi m \cos \alpha \quad (15a)$$

$$\rho_g = A \sin \alpha + \rho_p \quad (15b)$$

m = módulo, R_p = radio primitivo del piñón, A = distancia entre centros, X_p = coeficiente de cabeza del piñón.

Entonces:

$m = 22$ mm, $R_p = 209$ mm, $A = 3289$ mm, $X_p = 0$, para dientes estándar (de profundidad completa).

Reemplazando en las ecuaciones 15a y 15b:

$$\rho_p = \sqrt{(209 \text{ mm} + (1 + 0)(22 \text{ mm}))^2 - (209 \text{ mm} \cos 20^\circ)^2} - 22 \text{ mm} \pi \cos 20^\circ$$

$$\rho_p = 56.66 \text{ mm}$$

$$\rho_g = 3289 \text{ mm} (\sin 20^\circ) + 56.66 \text{ mm} = 1181.57 \text{ mm}$$

Reemplazando en la ecuación 15, se tiene que:

$$I = \frac{\cos 20^\circ}{\left(\frac{1}{56.66 \text{ mm}} + \frac{1}{1181.57 \text{ mm}} \right) 418 \text{ mm}} = 0.13$$

C_p : coeficiente elástico que considera las diferencias entre los materiales de los dientes:

$$C_p = \sqrt{\left(\frac{1}{\pi \left[\left(\frac{1 - \mu_p^2}{E_p} \right) + \left(\frac{1 - \mu_g^2}{E_g} \right) \right]} \right)} \quad (16)$$

E_p y E_g = módulos de elasticidad del piñón y la rueda

μ_p y μ_g = relaciones de Poisson

Debido a que el engranaje se diseña del mismo material, se obtiene del anexo 10 los módulos de elasticidad y la relación de Poisson.

$$E_p \text{ y } E_g = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$\mu_p \text{ y } \mu_g = 0.3$$

Reemplazando en la ecuación 16:

$$C_p = \sqrt{\left(\frac{1}{\pi \left[\left(\frac{1-0.3^2}{2 \times 10^5} \right) + \left(\frac{1-0.3^2}{2 \times 10^5} \right) \right]} \right)} = 187.027$$

C_f : factor que considera acabados superficiales de los dientes anormalmente ásperos. Para métodos de manufactura convencionales $C_f = 1$.

Ahora se procede a reemplazar todos los cálculos predecesores en la ecuación 14:

$$S_{c1} = 187.027 \sqrt{\left(\frac{312,870 \times 10^3 \text{ N}}{(352 \text{ mm})(0.13)(D)} \right) \left(\frac{(1.25)(1.8)}{0.92} \right) (1)(1)}$$

$$D = D_1 \text{ y } D_2$$

$$S_{c1} = 1182,91 \text{ MPa}$$

$$S_{c2} = 308.142 \text{ MPa}$$

5.2.5.1. Resistencia a la fatiga superficial AGMA (S_{fc}')

S_{fc}' corresponde a un esfuerzo permisible y se obtiene del anexo 11 con un acero de grado 2 y una dureza de 400 HB y 360 para piñón y corona respectivamente.

$$S_{fc}' = 27000 + 364 \text{ HB} \quad (17)$$

$$S_{fc1}' = 27000 + 364 (400) = 172600 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} \cdot \frac{6.985 \text{ kPa}}{\frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}} \cdot \frac{1 \text{ MPa}}{1000 \text{ kPa}} = 1205.61 \text{ MPa}$$

$$S_{fc2}' = 27000 + 364 (360) = 158040 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} \cdot \frac{6.985 \text{ kPa}}{\frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}} \cdot \frac{1 \text{ MPa}}{1000 \text{ kPa}} = 1103.91 \text{ MPa}$$

Diseño por esfuerzos superficiales variables:

$$S_c < S_{fc} = \frac{C_L C_H}{C_T C_R} S_{fc}' \quad (18)$$

S_{fc}' = esfuerzo superficial permisible AGMA

S_{fc} = esfuerzo superficial permisible corregido

S_c = esfuerzo máximo de compresión por contacto AGMA

$C_T = K_T = 1$ y $C_R = K_R = 1$ (factores de temperatura y confiabilidad)

C_L = factor de vida superficial, a partir del anexo 12, con el número de ciclos igual que en K_L .

$$C_{L1} = 1.4488N^{-0.023} = 1.4488(16.47 \times 10^6)^{-0.023} = 0.99$$

$$C_{L2} = 1.4488N^{-0.023} = 1.4488(1.098 \times 10^6)^{-0.023} = 1.05$$

C_H : factor de razón de dureza; los dientes de la rueda se endurecen por deformación cuando aquellos del piñón son más duros. Dado que el piñón tiene una dureza de 400 HB, para la rueda se ha establecido una dureza de 360 HB, esto con el fin que los dos elementos tengan un desgaste uniforme.

$$C_H = 1 + A_1(i - 1) \quad (18a)$$

$$\frac{HB_p}{HB_g} = \frac{400 \text{ HB}}{360 \text{ HB}} = 1.1111, \text{ si } \frac{HB_p}{HB_g} < 1.2 \quad A_1 = 0 ; \text{ entonces } C_H = 1$$

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación 18:

$$S_{fc1} = \frac{(0.99)(1)}{(1)(1)} \cdot (1205.61 \text{ MPa}) = 1194 \text{ MPa}$$

$$S_{fc2} = \frac{(1.05)(1)}{(1)(1)} \cdot (1205.61 \text{ MPa}) = 1268.47 \text{ MPa}$$

Factores de seguridad:

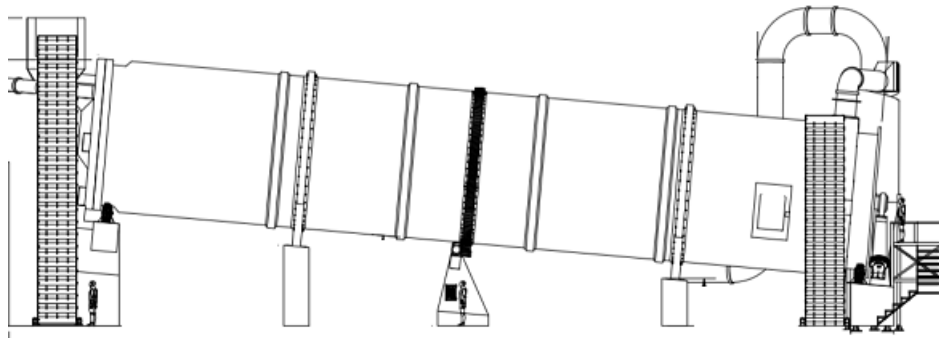
$$N_{c1} = \left(\frac{S_{fc1}}{S_{c1}} \right)^2 = \left(\frac{1194 \text{ MPa}}{1182.91 \text{ MPa}} \right)^2 = 1.019$$

$$N_{c2} = \left(\frac{S_{fc2}}{S_{c1}} \right)^2 = \left(\frac{1268.47 \text{ MPa}}{308.142 \text{ MPa}} \right)^2 = 16.95$$

5.3. Análisis estructural del reactor

Dadas las recomendaciones por ASME, de que el uso de dos soportes es preferible frente a múltiples desde el punto de vista estructural y económico, se ajustan los soportes como se muestran en figura 11 y se calculan las distancias de la siguiente forma [24]:

Figura 13. Configuración geométrica del reactor.



Elaboración propia.

Entonces:

$A \leq 0.2L$, donde L es la longitud del cuerpo y A es la distancia entre el centro del soporte y la unión cuerpo/cabezal;

$$A = 0.2 (29.6 \text{ m}) = 5.92 \text{ m}$$

Para la ubicación conveniente se considera que $a \approx A + 2/3 H$ y $l \approx L + 4/3 H$, donde H es la altura del cabezal, por lo tanto, a es:

$$H = 0.975 \text{ m}$$

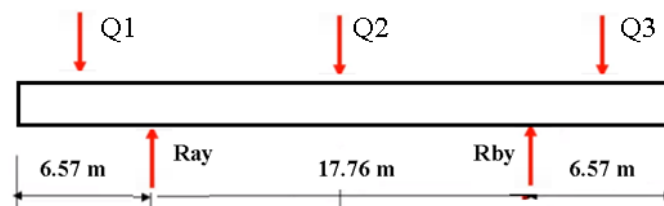
$$a = A + 2/3 H = 5.92 \text{ m} + 2/3 (0.975 \text{ m}) = 6.57 \text{ m}$$

$$l \approx L + 4/3 H = 29.6 \text{ m} + 1.3 \text{ m} = 30.9 \text{ m}$$

5.3.1. Diagrama de cuerpo libre del reactor

Dado que el reactor se considera en este caso como una viga de doble voladizo, se establece el diagrama de cuerpo libre mostrado en la figura 12:

Figura 14. Diagrama de cuerpo libre XY del reactor.



Elaboración propia.

El peso ($W_{total} = 411.61 \times 10^3 \text{ kg} \cdot (9.8 \text{ m/s}^2) = 4033.77 \text{ kN}$) y la fuerza tangencial ($Q_t = 312.870 \text{ kN}$) se consideran cargas uniformes a lo largo del tambor, por lo tanto:

$$Q_{total} = W_{total} + Q_t = 4033.77 \text{ kN} + 312.870 \text{ kN} = 4346.557 \text{ kN}$$

Dado que está en un plano inclinado de 5° :

$$Q_{total} = 4346.557 \cos(5^\circ) \text{ kN} = 4330 \text{ kN}$$

Dado que la carga actúa sobre todo el tambor, se busca la carga que actúa por metro:

$$W^* = \frac{4330 \text{ kN}}{30.9 \text{ m}} = \frac{140.12 \text{ kN}}{\text{m}}$$

Para encontrar las cargas que actúan a lo largo del tambor, entonces:

$$Q_1 = W^* \cdot 6.57 \text{ m} = \frac{140.12 \text{ kN}}{\text{m}} \cdot 6.57 \text{ m} = 920.65 \text{ kN}$$

$$Q_2 = W^* \cdot 17.76 \text{ m} = \frac{140.12 \text{ kN}}{\text{m}} \cdot 17.76 \text{ m} = 2488.69 \text{ kN}$$

$$Q_3 = W^* \cdot 6.57 \text{ m} = \frac{140.12 \text{ kN}}{\text{m}} \cdot 6.57 \text{ m} = 920.65 \text{ kN}$$

5.3.2. Reacciones:

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} - Q_1 - Q_2 - Q_3 = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$R_{Ay} + R_{By} = 920.65 \text{ kN} + 2488.69 \text{ kN} + 920.65 \text{ kN} = 4330 \text{ kN} \quad (19)$$

$$+\sum M_A = 0$$

$$920.65 \text{ kN} \cdot 3.285 \text{ m} - 2488.69 \text{ kN} \cdot 8.88 \text{ m} + R_{By} \cdot 17.76 \text{ m} - 920.65 \text{ kN} \cdot 21.045 \text{ m} = 0$$

$$R_{By} = \frac{38450.31 \text{ kN} \cdot \text{m}}{17.76 \text{ m}} = 2165 \text{ kN}$$

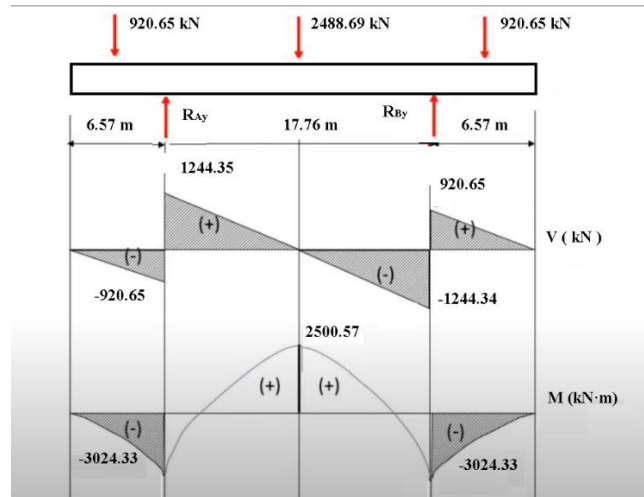
Con la ecuación 19, se reemplaza R_{By} y se obtiene:

$$R_{Ay} + R_{By} = 4330 \text{ kN}$$

$$R_{Ay} = 4330 \text{ kN} - 2165 \text{ kN} = 2165 \text{ kN}$$

A continuación, se observa en la figura 13 el diagrama de momento flector y cortante para el reactor.

Figura 15. Diagrama de momento flector y fuerza cortante.



Elaboración propia.

5.3.3. Esfuerzos longitudinales en el plano de los soportes del reactor

En los planos de los soportes, el máximo esfuerzo S_1 es debido al propio peso, al contenido y la fuerza tangencial del sistema de transmisión de potencia, se calculan con la siguiente ecuación [24]:

$$S_1 = \pm \frac{QA}{K^* R_m^2 t} \left(1 - \frac{1 - \frac{A}{L} + \left(\frac{R_m^2 - H^2}{2AL} \right)}{1 + \frac{4H}{3L}} \right) \quad (20)$$

Donde:

Q carga sobre cada soporte.

A distancia entre el centro del soporte y la unión cuerpo/cabecal.

L longitud del cuerpo.

R_m radio medio.

H altura del cabecal.

t espesor del cuerpo.

K^* factor adimensional, cuyo valor depende de lo que pasa en los planos de los soportes.

Entonces:

$$Q = 2165 \text{ kN}$$

$$A = 5.92 \text{ m}$$

$$L = 29.6 \text{ m}$$

$$R_m = 2.96 \text{ m}$$

$$H = 0.975 \text{ m}$$

$$t = 0.040 \text{ m}$$

$K^* = 0.57$, dado que el ángulo de contacto para este diseño es de 160° ; $K^* = K_1$ (Ver Anexo 13).

Reemplazando en la ecuación 20:

$$S_1 = \pm \frac{2165 \text{ kN} \cdot 5.92 \text{ m}}{0.571(2.96 \text{ m})^2 \cdot 0.04 \text{ m}} \left(1 - \frac{1 - \frac{5.92 \text{ m}}{29.6 \text{ m}} + \left(\frac{2.96^2 - 0.975^2}{2 \cdot 5.92 \text{ m} \cdot 29.6 \text{ m}} \right)}{1 + \frac{4 \cdot 0.975 \text{ m}}{3 \cdot 29.6 \text{ m}}} \right)$$

$$S_1 = 13.6 \text{ MPa}$$

5.3.4. Esfuerzos longitudinales en el plano medio del recipiente

En el plano medio del recipiente, el máximo esfuerzo S_1 es debido al propio peso, al contenido y la fuerza tangencial del sistema de transmisión de potencia, se calculan con la siguiente ecuación [24]:

$$S_{1*} = \pm \frac{QL}{4\pi R_m^2 t} \left(\frac{1 + 2 \left(\frac{R_m^2 - H^2}{L^2} \right)}{1 + \frac{4H}{3L}} - \frac{4A}{L} \right) \quad (21)$$

Reemplazando en la ecuación 21:

$$S_{1*} = \pm \frac{2165 \text{ kN} \cdot 29.6 \text{ m}}{4\pi(2.96 \text{ m})^2(0.04 \text{ m})} \left(\frac{1 + 2 \left(\frac{(2.96 \text{ m})^2 - (0.975 \text{ m})^2}{(29.6 \text{ m})^2} \right)}{1 + \frac{4 \cdot 0.975 \text{ m}}{3 \cdot 29.6 \text{ m}}} - \frac{4 \cdot 5.92 \text{ m}}{29.6 \text{ m}} \right)$$

$$S_{1*} = 2.55 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad:

Con la resistencia del acero inoxidable SAE 316 elegido para el reactor; $S_y = 205 \text{ MPa}$ (ver anexo 1), sobre el esfuerzo aplicado se calcula el factor de seguridad.

$$N_1 = \frac{S_y}{S_1} = \frac{205 \text{ MPa}}{13.6 \text{ MPa}} = 15.07$$

5.3.5. Esfuerzos cortantes

La distribución y magnitud de los esfuerzos cortantes (originadas por el peso propio, el contenido y la fuerza tangencial) depende como este reforzado el recipiente. Dado que $A > R_m/2$, los máximos esfuerzos cortantes S_2 en el cuerpo cilíndrico, se calculan como [24]:

$$S_2 = \frac{\bar{K}Q}{R_m t} \left(\frac{L - 2A}{L + \frac{4H}{3}} \right) \quad (22)$$

Donde:

\bar{K} factor adimensional, cuyo valor depende de lo que pasa en los planos de los soportes, para este caso que los refuerzos estructurales no están en los soportes, $\bar{K} = K_2 = 0.713$ (Ver anexo 13).

$$S_2 = \frac{0.713 \cdot 2165 \text{ kN}}{2.96 \text{ m} \cdot 0.04 \text{ m}} \left(\frac{29.6 \text{ m} - 2 \cdot 5.96 \text{ m}}{29.6 \text{ m} + \frac{4 \cdot 0.975 \text{ m}}{3}} \right)$$

$$S_2 = 7.46 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad: con la resistencia al cortante $S_{ys} = 0.577S_y$ [25], sobre el esfuerzo cortante aplicado.

$$N_2 = \frac{S_{ys}}{S_2} = \frac{0.577S_y}{S_2} = \frac{0.577 \cdot 205 \text{ MPa}}{7.46 \text{ MPa}} = 15.85$$

5.3.6. Esfuerzos circunferenciales

En la zona de los apoyos, la transmisión de las cargas origina esfuerzos circunferenciales en el cuerpo cilíndrico y en la zona en contacto con el apoyo y, puesto que el cilindro no tiene anillos rigidizadores, se utiliza la siguiente ecuación [24]:

$$S_3 = \left\{ \begin{array}{ll} -\frac{Q}{4t(b + 1.56\sqrt{R_m t})} - \frac{3K_6 Q}{2t^2} & \text{cuando: } L \geq 8R_m \quad (a) \\ -\frac{Q}{4t(b + 1.56\sqrt{R_m t})} - \frac{12K_6 Q R_m}{Lt^2} & \text{cuando: } L < 8R_m \quad (b) \end{array} \right\} \quad (23)$$

Donde:

b ancho del soporte.

K_6 factor adimensional que depende del ángulo de contacto θ y del cociente entre el largo de la parte en voladizo del tanque A y el radio R_m .

Como $L \geq 8R_m$, se utiliza la ecuación 23a, por ende:

Con $b = 5$ m, $K_6 = 0.0261$ (Ver anexo 14) y reemplazando en la ecuación 23 (a), se tiene que:

$$S_3 = -\frac{2165 \text{ kN}}{4 \cdot 0.04 \text{ m}(b + 1.56\sqrt{2.96 \text{ m} \cdot (0.04 \text{ m})})} - \frac{3 \cdot 0.0261(2165 \text{ kN})}{2(0.04 \text{ m})^2}$$

$$S_3 = -55.42 \text{ MPa}$$

El esfuerzo calculado no debe ser mayor que una vez y media del esfuerzo admisible [24]:

$$|S_3| < 1.5S, \quad |-55.42 \text{ MPa}| < (1.5 \cdot 110 \text{ MPa})$$

Por lo tanto, el factor de seguridad es:

$$N_3 = \frac{S_y}{S_2} = \frac{205 \text{ MPa}}{55.42 \text{ MPa}} = 3.69$$

5.3.7. Esfuerzos circunferenciales en la zona del fondo del soporte.

El esfuerzo correspondiente al fondo de los apoyos se calcula de la siguiente forma:

$$S_3 = -\frac{K_5 Q}{t(b + 1.56\sqrt{R_m t})} \quad (24)$$

Donde:

K_5 factor adimensional que varía con el ángulo de contacto.

$K_5 = 0.654$ (Ver anexo 13).

$$S_3 = -\frac{0.654 \cdot 2165 \text{ kN}}{(0.04)(5 + 1.56\sqrt{2.96 \text{ m} \cdot 0.04 \text{ m}})}$$

$$S_3 = -6.39 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad:

$$N_4 = \frac{S_y}{S_2} = \frac{205 \text{ MPa}}{6.39 \text{ MPa}} = 32.08$$

5.4. Sistema de amortiguación para el reactor

Para el sistema de amortiguación y mayor orientación se consideraron 6 llantas tipo tractor elegidas de la biblioteca de Inventor. La función principal es “ayudar” al sistema de transmisión de potencia para el movimiento del tambor giratorio, tal como se muestra en la figura 15.

Figura 16. Sistema de amortiguación, llantas ubicadas en los extremos del reactor.



Elaboración propia.

5.5. Colector de polvo

Además del reactor, la estación consta de un colector de polvo. Con el propósito de mejorar la calidad del aire liberado en el interior del tambor, mediante la captación de impurezas por medio de un conducto, absorbiendo y reteniendo en el depósito estas partículas para luego ser filtradas y después direccionarlo a la atmósfera de manera limpia. Este dispositivo es imprescindible para no contaminar los alrededores y no generar ningún riesgo. En la figura 16 se observa su configuración geométrica.

Para el diseño de este colector, se puede tratar un caudal de $Q_{colector} = 2.5 \text{ m}^3/\text{s}$, así mismo, del anexo 15, se eligió una velocidad de transporte al interior de los ductos de $V_{transporte} = 5 \text{ m/s}$. Con estos datos, se halla el área de la tubería.

$$Q_{colector} = V_{transporte} A_{ductos}$$

$$A_{ductos} = Q_{colector} / V_{transporte}$$

Reemplazando:

$$A_{ductos} = (2.5 \text{ m}^3/\text{s}) / (5 \text{ m/s}) = 0.5 \text{ m}^2$$

Para calcular el diámetro del colector (D_c) es necesario que este ciclón se considere convencional, bajo esta premisa del anexo 15, se elige Lapple, y se establecen las siguientes relaciones [26]:

$$A_{ductos} = a \times b \text{ (Ver anexo 16)} \quad (25)$$

$$\text{Altura de entrada: } a = 0.5 \cdot D_c$$

$$\text{Ancho de entrada: } b = 0.25 \cdot D_c$$

Entonces:

$$A_{ductos} = 0.5 \cdot D_c \cdot 0.25 \cdot D_c = 0.125 \cdot D_c^2$$

$$D_c = \sqrt{\left(\frac{A_{ductos}}{0.125}\right)} \quad (26)$$

Reemplazando:

$$D_c = \sqrt{\left(\frac{0.5 \text{ m}^2}{0.125}\right)} = 2 \text{ m}$$

Las demás dimensiones (ver anexo 17):

$$\text{Altura de entrada (a): } a = 0.5 D_c = 1 \text{ m}$$

$$\text{Ancho de entrada (b): } b = 0.25 D_c = 0.5 \text{ m}$$

$$\text{Altura de salida (S): } S = 0.625 D_c = 1.25 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro de salida (D}_s\text{): } D_s = 0.5 D_c = 1 \text{ m}$$

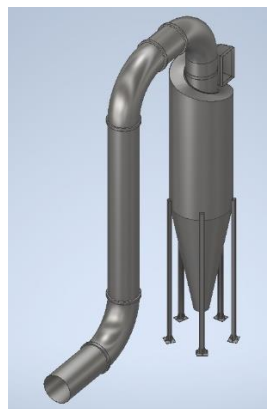
$$\text{Altura parte cilíndrica (h): } h = 2.0 D_c = 4 \text{ m}$$

$$\text{Altura parte cónica (z): } z = 2.0 D_c = 4 \text{ m}$$

$$\text{Altura total de ciclón (H): } H = 4.0 D_c = 8 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro salida de partículas (B): } B = 0.25 D_c = 0.5 \text{ m}$$

Figura 17. Colector de polvo diseñado en Inventor.



Elaboración propia.

5.6. Estructura metálica

Adicionalmente, la estación cuenta con una estructura para la movilización del personal como se muestra en la figura 13; consiste en unas escaleras amplias de 0.97 m. La parte del soporte cuenta con una altura de 4.06 m y 2.62 m de ancho. Se dispone al frente del fondo del reactor, cerca del colector de polvo; de manera que permitirá una observación del reactor, además permitirá ejecuciones de mantenimiento.

Figura 18. Estructura metálica diseñada en Inventor.



Elaboración propia.

5.7. Bandas transportadoras

Otro de los elementos imprescindibles para este equipo industrial son las bandas transportadoras. Éstas serán las responsables de desplazar la materia orgánica, para llevarla hasta la boca del tambor. Adicionalmente, luego de que se haya cumplido el tiempo de maduración y se haya producido el compost, pasará a una zona de empaque para después ser transportada por otra banda. La estructura de la banda transportadora ascendente como se muestra en la figura 11 posee las siguientes dimensiones: 25.99 m de largo por 1.5 m de ancho con una altura de 10.4 m. La segunda banda descendente en la zona de descarga tiene 22.6 m de largo por 1.5 m ancho con una altura de 9.04 m.

A continuación, se calculará la capacidad volumétrica con la inclinación de acuerdo con la ecuación 27 [27]:

$$Q_v = 3600 \cdot A_1 \cdot v \quad (27)$$

Donde:

Q_v = capacidad volumétrica de la banda (m^3/h)

A_1 = área de la sección transversal del material (m^2)

v = velocidad de la banda (m/s)

Las bandas transportadoras se han diseñado con igual inclinación, por lo tanto, es necesario aplicar un factor por inclinación de la banda, entonces la ecuación 27 se convertirá en la siguiente:

$$Q_v = 3600 \cdot A_1 \cdot v \cdot k_i \quad (28)$$

Para calcular el factor k se aplica la siguiente ecuación [26]:

$$k_i = 1 - 1.64 \left[\frac{\varphi \cdot \pi}{180} \right]^2 \quad (29)$$

Donde:

φ = ángulo de inclinación de la banda

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{H_1}{L_1} \right) \quad (30)$$

Donde:

H_1 = altura hasta la boca del reactor

L_1 = longitud de la banda inclinada

$$\varphi_{banda1} = \tan^{-1} \left(\frac{10.40}{25.99} \right) = 21.8^\circ$$

$$\varphi_{banda2} = \tan^{-1} \left(\frac{9.04}{22.6} \right) = 21.8^\circ$$

$$K_i = 1 - 1.64 \left[\frac{21.8^\circ \cdot \pi}{180} \right]^2 = 0.76$$

Para obtener el área de la sección transversal se tiene en cuenta la elección del rodillo, en este caso, es de rodillo plano como se observa en los anexos de los planos. Así mismo, para calcularla se hace de acuerdo con el anexo 18 [26].

$$A_1 = \frac{1}{4} b_1^2 [\tan \beta] \quad (31)$$

Donde:

$b_1 = 0.9B - 0.05$; B = ancho de la banda, en este diseño es de 1.5 m

$$b_1 = 0.9(1.5 \text{ m}) - 0.05 = 1.3 \text{ m}$$

$\beta = 15^\circ$; ángulo de sobrecarga recomendado

Entonces:

$$A_1 = \frac{1}{4} (1.3 \text{ m})^2 [\tan 15^\circ] = 0.113 \text{ m}^2$$

Para el cálculo de la velocidad de la banda transportadora se eligió debido al anexo 19[26] y dado que el material orgánico pueda ser abrasivo; la velocidad de la banda será de 3.15 m/s. Reemplazando todos los datos, se obtiene la capacidad volumétrica de las bandas.

$$Q_v = 3600 \cdot (0.113) \cdot (3.15) \cdot (0.76)$$

$$Q_v = 973.88 \text{ m}^3/\text{h}$$

Figura 19. Banda transportadora diseñada en Inventor.



Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- Se identificaron las características de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en las principales ciudades de Colombia. Así mismo, se observó que el tratamiento de éstos ha sido principalmente por rellenos sanitarios, provocando una sobreexplotación de éste; por ende, es necesario buscar alternativas como el compost y así atenuar el impacto ambiental.
- Para la producción de compost deben estar controladas las propiedades fisicoquímicas durante el proceso. Para una etapa de maduración ideal, es prioritario una aireación adecuada, un control riguroso sobre la temperatura, una observación pertinente de la humedad y un volteo sistemático sobre los desechos orgánicos.
- En este trabajo se realizó el diseño de una estación generadora de compost, la cual permite una producción de compost en altos volúmenes en periodos más cortos; debido a la utilización de un reactor industrial con volteo. Este es uno de los sistemas altamente mecanizados y que permite un proceso de manera segura y confiable.
- Las herramientas CAD resultan imprescindibles en la elaboración de diseños y planos, eso sí, deben estar respaldadas por cálculos matemáticos. Buscando así, mayor certidumbre sobre el posible funcionamiento, seguridad, confiabilidad y eficiencia del sistema.
- El prototipo diseñado requiere mínima intervención humana para el funcionamiento, debido al controlador lógico programable (PLC), garantizando autonomía del sistema. Por ende, disminución de los riesgos o condiciones inseguras para los operarios.

RECOMENDACIONES

- Para tener más certidumbre en los cálculos, se hace necesario someter la estructura a un análisis de elementos finitos; esto con el fin de realizar ajustes geométricos, de funcionalidad o seguridad.
- Se recomienda hacer un análisis financiero de la planta productora de compost, donde se puede observar si es viable económicamente. Así mismo, un estudio de mercado sobre la comercialización de compost en la ciudad de Pereira.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] RODRÍGUEZ, Sara. C. Residuos sólidos en Colombia: su manejo es un compromiso de todos. Rev. L'spirit ingenieux. Vol. 2. No. 1 (2011); pp. 91-96.
- [2] NOGUERA, Katia y OLIVERO, Jesús. Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Vol. 34. No. 132 (2010); p. 347.
- [3] Departamento Nacional de Planeación. (2016, 21 de Noviembre). *Política Nacional Para la Gestión Integral de Residuos Sólidos*. (Documento CONPES 3874). Bogotá D.C, Colombia: DNP.
- [4] ANDRÉ, Francisco y CERDÁ, Emilio. Gestión de Residuos Sólidos Urbanos: Análisis Económico Y Políticas Públicas [En Línea]. Madrid – España. Enero 2006 [citado 03 Sep. 2019]. Disponible en:
https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Andre/publication/277260510_Gestion_de_residuos_solidos_urbanos_analisis_economico_y_politicas_publicas/links/560baa5f08ae80232a3f22c3/Gestion-de-residuos-solidos-urbanos-analisis-economico-y-politicas-publicas.pdf
- [5] SIBARATO, Dario. Aspectos Generales De La Problemática De Los Residuos Sólidos Urbanos [En Línea]. Brujas ed. 1. [Buenos Aires – Argentina]. 2012 [citado 03 sep. 2019]. Disponible en:
<http://www.digitaliapublishing.com.ezproxy.utp.edu.co/visor/41828#>
- [6] MARÍN, Carolina y MALDONADO, Andrea. Guía para la Formulación, Implementación, Evaluación, Seguimiento, Control y Actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) [En Línea]. Bogotá D.C, Colombia. Septiembre 2015 [citado 19 Sep. 2019] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Disponible en:
<http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/PGIRS/PGIRS%20de%20Segunda%20Generación/Guía%20para%20la%20formulación,%20implementación,%20evaluación,%20seguimiento,%20control%20y%20actualización%20de%20los%20PGIRS.pdf>
- [7] Departamento Nacional de Planeación. *informe de Disposición Final de Residuos Sólidos-2017* [En Línea]. Ed. 10. [Bogotá D.C, Colombia]. 2018 [citado 19 sep. 2019]. Disponible en:
https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2018/Dic/2._disposicion_final_de_residuos_solidos_-_informe_2017.pdf
- [8] CORTÉS, Javier. Así es como Bogotá aprovechará sus residuos sólidos [En Línea]. Alcaldía Mayor de Bogotá. [Bogotá D.C, Colombia]. Enero 2017 [citado 19 Sep. 2019]. Disponible en:
<https://bogota.gov.co/mi-ciudad/ambiente/asi-es-como-bogota-aprovechara-sus-residuos-solidos>
- [9] Departamento Administrativo de Planeación Municipal – Alcaldía de Cali. *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de Santiago de Cali*. PGIRS 2015-2027 [En Línea]. [Santiago de Cali, Valle del Cauca – Colombia]. Diciembre 2015 [citado 19 Sep. 2019]. Disponible en:
<http://www.cali.gov.co/descargar.php?idFile=9003>

[10] NOGUERA, Katia y OLIVERO, Jesús. *Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano [En Línea]*. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Vol. 34, no. 132. Septiembre 2010 [citado 19 Sep. 2019]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Katia_Noguera-Oviedo/publication/301799194_Los_rellenos_sanitarios_en_latinoamerica_Caso_colombiano/links/5728bc4608aef5d48d2c8590.pdf

[11] Departamento Administrativo de Planeación Municipal – Alcaldía de Bucaramanga. *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de Bucaramanga. PGIRS 2016-2027. Formulación y Actualización [En Línea]*. Diciembre 2016 [citado 20 Sep. 2019]. Bucaramanga, Santander – Colombia. Disponible en: https://www.bucaramanga.gov.co/laruta/download/plan_integral_de_residuos_solidos/PLAN_DE_GESTION_INTEGRAL_DE_RESIDUOS_SOLIDOS_BUCARAMANGA_2016-2027_2.pdf

[12] Departamento Administrativo de Planeación Municipal – Alcaldía de Pereira. Actualización del Plan Municipal de Gestión Integral de Residuos PGIRS 2015-2027 [En Línea]. Pereira, Risaralda – Colombia. 2015 [citado 19 Sep. 2019]. Disponible en: <http://www.pereira.gov.co/Planeacion/PGIRS/PGIRS%202018/0.%20PGIRS%20Pereira%202015-2027%20Actualizado.pdf>

[13] SAÉZ, Alejandrina y URDANETA G., Joheni A. *Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe*. En: Omnia. Septiembre-Diciembre, 2014. vol. 20, no. 3, p. 121-135. Universidad del Zulia Maracaibo, Venezuela.

[14] SANCHÉZ, Germán. *Desarrollo y medio ambiente: una mirada a Colombia [En Línea]*. En: Fundación Universidad Autónoma de Colombia. Marzo, 2002 [citado 19 Sep. 2019]. vol. 1, no. 1, p. 79-98. Disponible en: <https://guao.org/sites/default/files/biblioteca/Desarrollo%20y%20medio%20ambiente%20una%20mirada%20a%20Colombia.pdf>

[15] Departamento Nacional de Planeación – Ministerio del Medio ambiente. Política para la Gestión Integral de Residuos [En Línea]. Julio de 1998 [citado 23 Sep. 2019]. Bogotá D.C, Colombia: DNP. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Políticas_de_la_Dirección/Política_para_la_gestión_integral_de_1.pdf

- [16] VELÁZQUEZ, Ana María. Gestión Ambiental Y Tratamiento De Residuos Urbanos (Manuscrito): Propuesta Para La Zona Metropolitana De Guadalajara A Partir De Las Experiencias De La Unión Europea [En línea]. Marzo 2006 [citado 03 Sep., 2019]. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/6492/1/T29577.pdf>
- [17] Portal Terminológico de la FAO, citado en ROMÁN Pilar, Martínez María y Pantoja Alberto. 2013. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Organización de las naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile. pp. 22-32.
- [18] Rodríguez Salinas, Marco Arturo y Córdova, Ana. Manual de compostaje municipal, tratamientos de residuos sólidos urbanos. Septiembre, 2006 [citado 28 Sep., 2019]. Disponible en: <http://www.resol.com.br/cartilha5/Manual%20de%20Compostaje-SERMANAT-Mexico.pdf>
- [19] Mendoza Tovar, Janet Amparo. Diseño de un reactor aeróbico a nivel de laboratorio para producir compost a partir de los residuos sólidos urbanos orgánicos domiciliarios del distrito de Chupaca. Universidad Nacional del Centro de Perú, Facultad de ingeniería química. 2010.
- [20] Mendoza Díaz, Idalberto de la C, et al. Capacidad volumétrica de tapas y fondos torresfericos. En: Centro Azúcar, 2007. Vol. 2. No. 13. p. 6. Disponible en: <http://centroazucar.uclv.edu.cu/media/articulos/PDF/2007/2/13.pdf>
- [21] American Institute of Chemical Engineers (2006). Equipment Testing Procedure: Continuous Direct-Heat Rotary Dryers, AIChE, New York.
- [22] Norton R. L., "Diseño de Máquinas", 1ª edición. Editorial Pearson.
- [23] Budynas R., Nisbert K., "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley", 8ª edición. Editorial McGraw Hill.
- [24] Massa Julio, Juan Giró. Compendio de Cálculo Estructural II para Ingeniería Mecánica: Capítulo 16, Recipientes de presión. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - Universidad Nacional de Córdoba. 2015.
- [25] Vanegas Useche, Libardo V. Diseño de Elementos de Máquina. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2017.
- [26] Miguel, Cajahuamán. Diseño de un sistema de extracción de polvo para una cabina de granallado semiautomática en la empresa Prometal Roca Hermanos E.I.R.L. Universidad nacional tecnológica del cono sur de Lima, Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Ambiental. 2014.
- [27] Haber, Hinojosa. Software para diseño de trasportadoras de banda. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción. 2002.



ANEXOS


Table 3. AISI 316 stainless steel properties

Temp.	Density	Specific heat	Thermal conduct.	Elastic modulus	Thermal exp. coeff.	Yield stress	Allowable stress
K	kg/m ³	J/kg/K	W/m/K	GPa	10 ⁻⁶ /K	MPa	MPa
300	7960	468	13.40	194	15.2	207	110
400		504	15.20	188	16.1	167	110
500		527	16.75	182	16.9	143	110
600		550	18.30	174	17.5	129	110
700		563	19.80	166	17.9	121	110
800		571	21.30	158	18.3	118	105
900		589	22.75	149	18.6	113	68
1000		602	24.20	136	18.8	103	21

ANEXO 1

45,0 kW



P ₁	n ₂	M ₂	f _B	i _{ges}	F _R	F _A	F _{R VL}	F _{A VL}	Type	kg	mm
[kW]	[min ⁻¹]	[Nm]			[kN]		[kN]				
45,0	6,6	65390	0,8	270,09	107,8	100,0	-	-	SK 9096.1/62 - 225 M/4	2230	E112-113
	7,6	56530	0,9	233,51	125,2	100,0	-	-			E115
	8,5	50590	1,0	208,95	136,4	100,0	-	-			
	12	37350	1,3	154,29	159,4	100,0	-	-	SK 9096.1 - 225 M/4	2100	E112-113
	13	32290	1,5	133,53	166,8	100,0	-	-			
	15	28610	1,7	118,18	172,5	100,0	-	-			
	17	24740	2,0	102,18	177,6	100,0	-	-			
	20	21690	2,3	89,60	182,0	100,0	-	-			
	22	19710	2,5	81,43	184,6	100,0	-	-			
	25	17050	2,9	70,41	187,8	100,0	-	-			
	27	15750	3,2	65,07	189,6	100,0	-	-			
	28	15110	3,3	62,39	190,4	100,0	-	-			

Helical-bevel gear units

E36
G1000 IE2 · 60Hz
www.nord.com

ANEXO 2

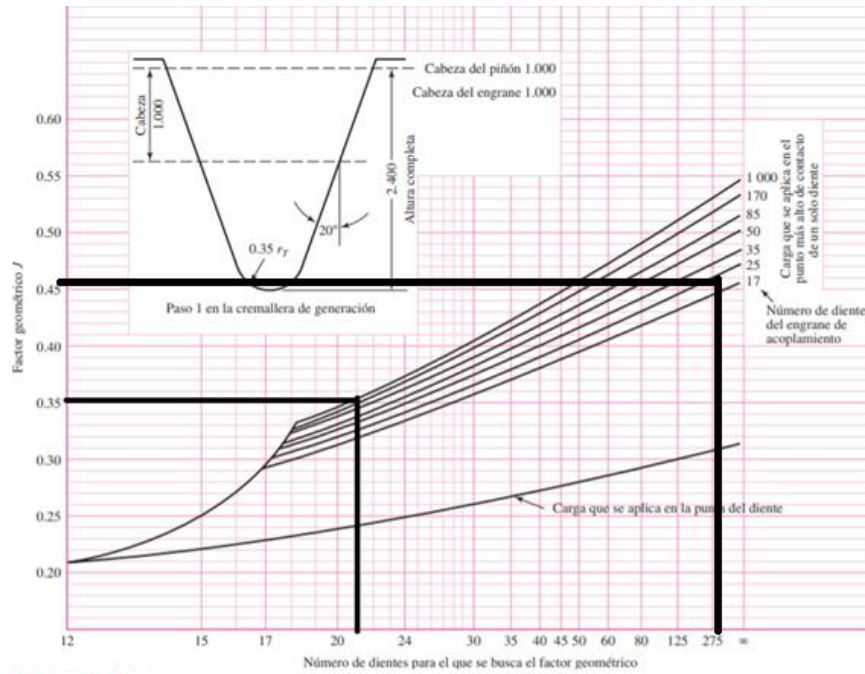
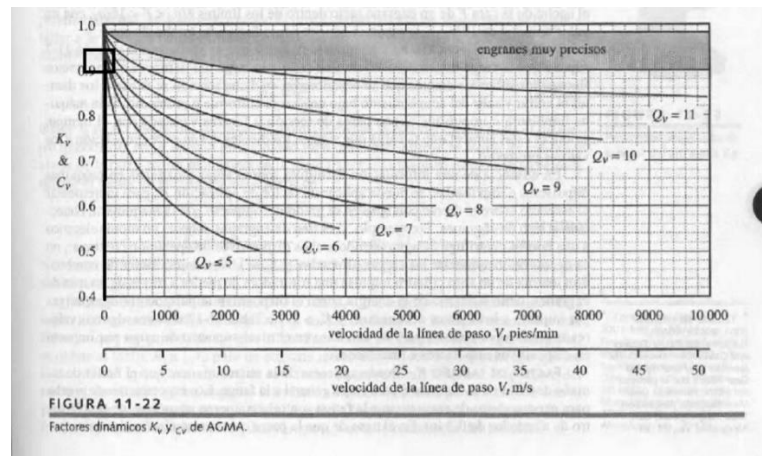


Figura 14-6

Factores geométricos J de engranes rectos. Fuente: La gráfica es de AGMA 218.01, lo que es consistente con los datos tabulares provenientes del actual AGMA 908-B89. La gráfica es adecuada para propósitos de diseño.

ANEXO 3



ANEXO 4

TABLA 11-16

Factores de distribución de carga K_m

Ancho de la cara in (mm)	K_m
<2 (50)	1.6
6 (150)	1.7
9 (250)	1.8
≥20 (500)	2.0

ANEXO 5

TABLA 11-17 Factores de aplicación K_a			
Máquina impulsada	Máquina impulsora		
	Uniforme	Impacto moderado	Impacto severo
Uniforme (motor eléctrico, turbina)	1.00	1.25	1.75 o superior
Impacto ligero (motor multicilindro)	1.25	1.50	2.00 o superior
Impacto medio (motor de un solo cilindro)	1.50	1.75	2.25 o superior

ANEXO 6

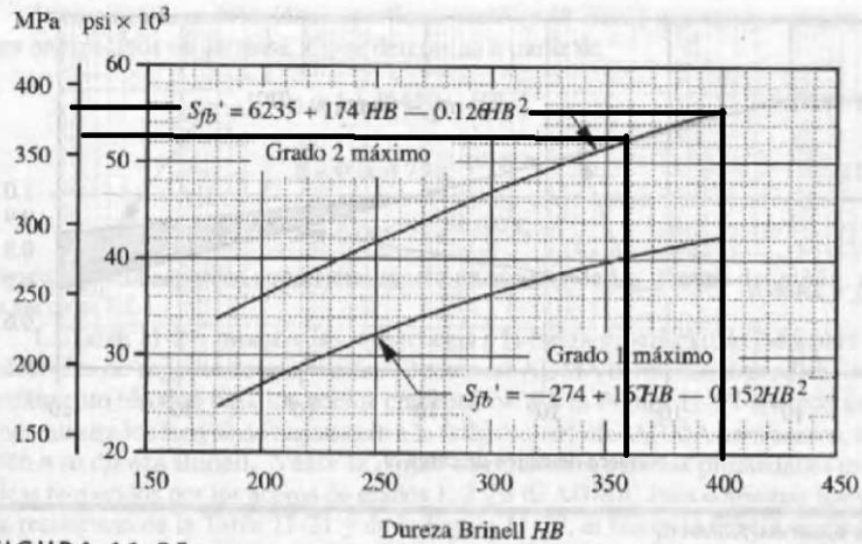


FIGURA 11-25

Resistencias S_{fb}' a la fatiga por flexión AGMA para aceros*

ANEXO 7

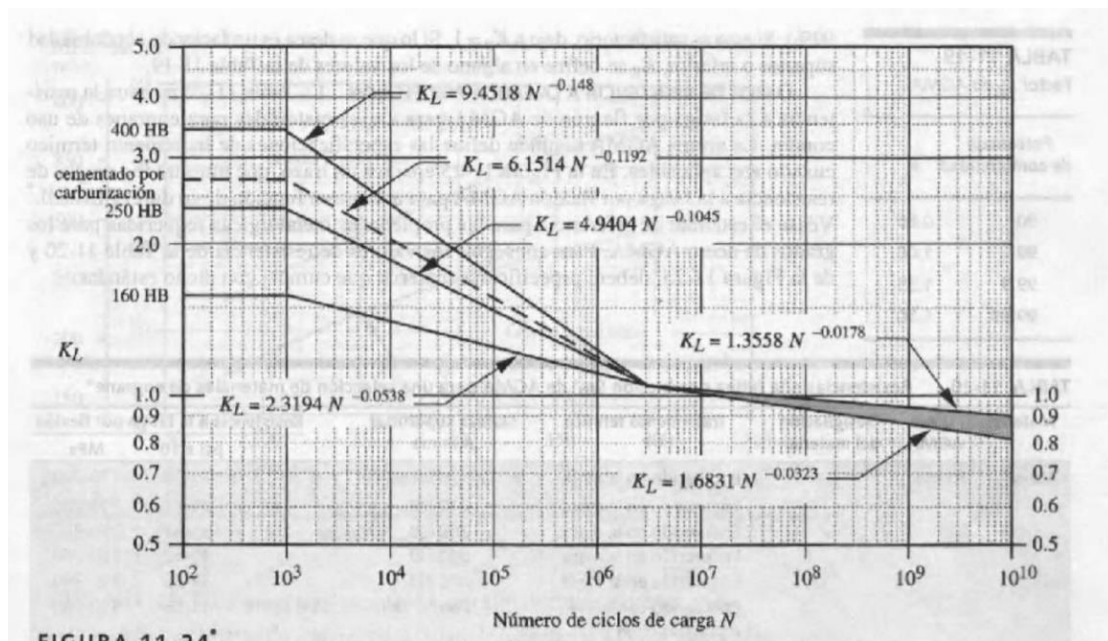


FIGURA 11-24*

ANEXO 8

TABLA 11-19
Factor K_R de AGMA

Porcentaje de confiabilidad	K_R
90	0.85
99	1.00
99.9	1.25
99.99	1.50

ANEXO 9

TABLA 11-18 Coeficiente elástico AGMA C_P en unidades de $[\text{psi}]^{0.5}$ ($[\text{MPa}]^{0.5}$)*

Material del piñón	E_p psi (MPa)	Material del engrane					
		Acero	Hierro maleable	Hierro nodular	Hierro fundido	Bronce al aluminio	Bronce al estaño
Acero	30E6 (2E5)	2 300 (191)	2 180 (181)	2 160 (179)	2 100 (174)	1 950 (162)	1 900 (158)
Hierro maleable	25E6 (1.7E5)	2 180 (181)	2 090 (174)	2 070 (172)	2 020 (168)	1 900 (158)	1 850 (154)
Hierro nodular	24E6 (1.7E5)	2 160 (179)	2 070 (172)	2 050 (170)	2 000 (166)	1 880 (156)	1 830 (152)
Hierro fundido	22E6 (1.5E5)	2 100 (174)	2 020 (168)	2 000 (166)	1 960 (163)	1 850 (154)	1 800 (149)
Bronce al aluminio	17.5E6 (1.2E5)	1 950 (162)	1 900 (158)	1 880 (156)	1 850 (154)	1 750 (145)	1 700 (141)
Bronce al estaño	16E6 (1.1E5)	1 900 (158)	1 850 (154)	1 830 (152)	1 800 (149)	1 700 (141)	1 650 (137)

*Los valores de E_p de esta tabla son aproximados, y se aplicó $\nu = 0.3$ como aproximación de la razón de Poisson para todos los materiales. De haber disponibles cifras más precisas para E_p y para ν , deberán aplicarse en la ecuación 11.23 para obtener C_P .

ANEXO 10

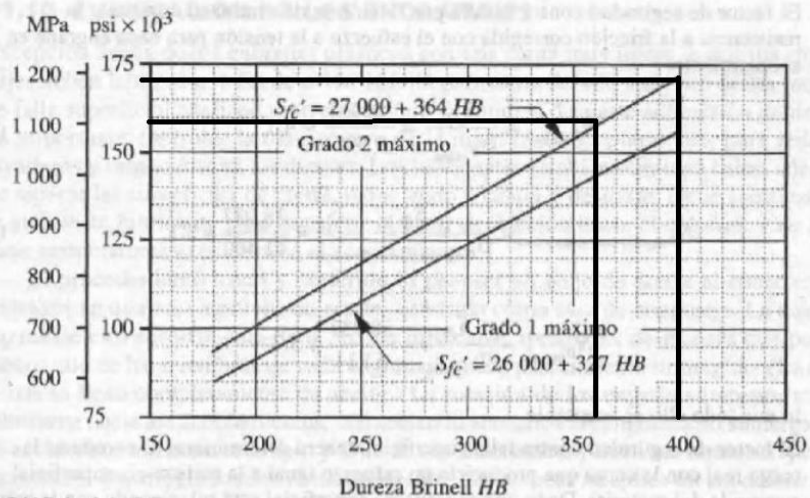
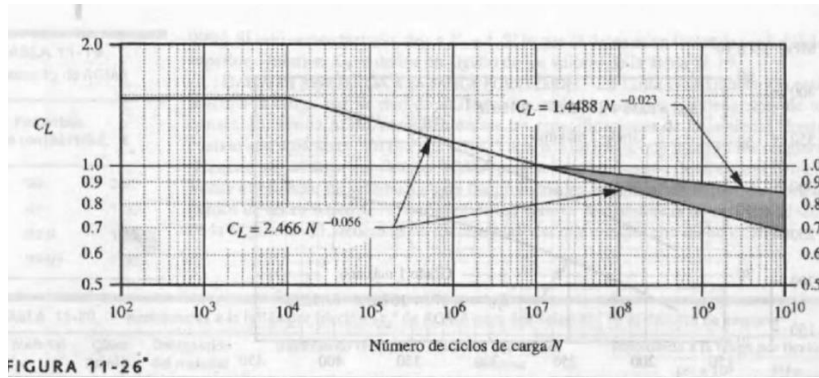


FIGURA 11-27

Resistencias a la fatiga superficial $S'_{fc'}$ AGMA para los aceros*

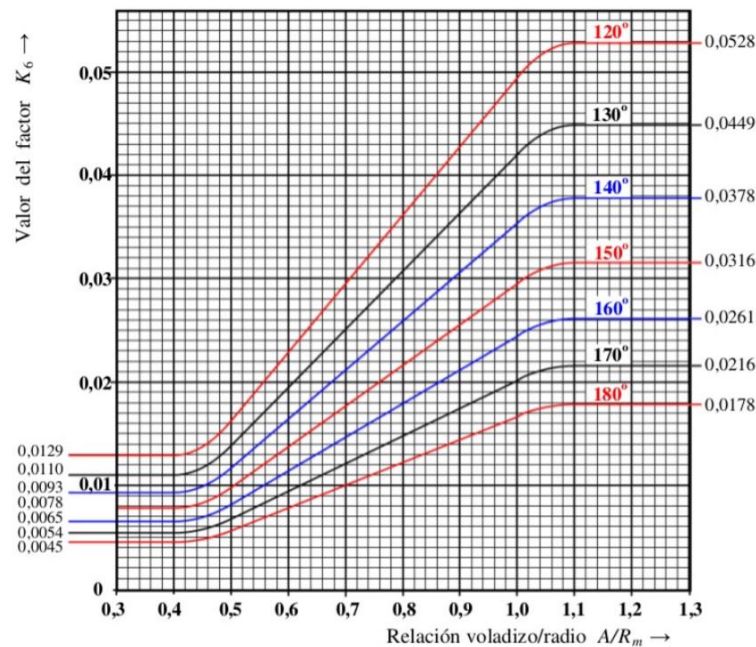
ANEXO 11



ANEXO 12

θ	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9
120	0,335	1,171	0,880	0,401	0,760	ver	0,603	0,340	0,0525
122	0,345	1,139	0,846	0,393	0,753	gráfico	0,618	0,338	0,0509
124	0,355	1,108	0,813	0,385	0,746	en la	0,634	0,336	0,0494
126	0,366	1,078	0,781	0,377	0,739	página	0,651	0,334	0,0479
128	0,376	1,050	0,751	0,369	0,732	siguiente	0,669	0,332	0,0464
130	0,387	1,022	0,722	0,362	0,726	K_6	0,689	0,330	0,0449
132	0,398	0,996	0,694	0,355	0,720	depende	0,705	0,328	0,0435
134	0,409	0,971	0,667	0,347	0,714	de θ	0,722	0,325	0,0421
136	0,420	0,946	0,641	0,340	0,708	y de	0,740	0,323	0,0407
138	0,432	0,923	0,616	0,334	0,702	A/R_m	0,759	0,320	0,0394
140	0,443	0,900	0,592	0,327	0,697		0,780	0,318	0,0380
142	0,455	0,879	0,569	0,320	0,692		0,796	0,315	0,0368
144	0,467	0,858	0,547	0,314	0,687		0,813	0,312	0,0355
146	0,480	0,837	0,526	0,308	0,682		0,831	0,309	0,0343
148	0,492	0,819	0,505	0,301	0,678		0,853	0,307	0,0331
150	0,505	0,799	0,485	0,295	0,673		0,876	0,304	0,0319
152	0,518	0,781	0,466	0,289	0,669		0,894	0,301	0,0307
154	0,531	0,763	0,448	0,283	0,665		0,913	0,297	0,0296
156	0,544	0,746	0,430	0,278	0,661		0,933	0,294	0,0285
158	0,557	0,729	0,413	0,272	0,657		0,954	0,291	0,0275
160	0,571	0,713	0,396	0,266	0,654		0,976	0,288	0,0265
162	0,585	0,698	0,380	0,261	0,650		0,994	0,284	0,0255

ANEXO 13



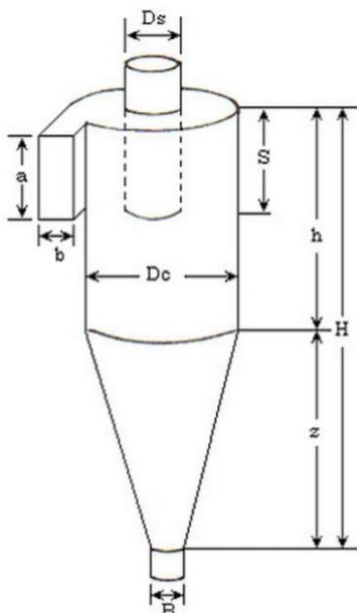
ANEXO 14

Naturaleza del Contaminante	Ejemplo	Velocidad de Transporte (m/s)
Vapores, gases y neblinas	Todos los vapores, gases y neblinas	5 – 6
Humos	Humos de oxido de zinc y aluminio	7 – 10
Polvo volátil muy fino	Pelusa de algodón, polvillo de madera	10 – 13
Polvo seco y material pulverizado o triturado	Polvo fino de caucho, hilaza, polvo de algodón, virutas, polvo de jabón.	13 - 15
Polvo promedio industrial	Aserrín (pesado y húmedo), polvo de esmerilado, polvo de pulidoras, polvo de lana, grano de café, polvo de suela, polvillo de sílice, material suspendido en general, fundición general.	17 – 20

ANEXO 15

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón			
		Lapple	Swift	Peterson-Whitby	Zenz
Diámetro del ciclón	D_c/D_c	1.0	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada	a/D_c	0.5	0.5	0.583	0.5
Ancho de entrada	b/D_c	0.25	0.25	0.208	0.25
Altura de salida	s/D_c	0.625	0.6	0.583	0.75
Diámetro de salida	D_s/D_c	0.5	0.5	0.5	0.5
Altura parte cilíndrica	h/D_c	2.0	1.75	1.333	2.0
Altura parte cónica	z/D_c	2.0	2.0	1.837	2.0
Altura total del ciclón	H/D_c	4.0	3.75	3.17	4.0
Diámetro salida partículas	B/D_c	0.25	0.4	0.5	0.25
Factor de configuración	G	402.88	381.79	342.29	425.41
Número cabezas de velocidad	NH	8.0	8.0	7.76	8.0
Número de vórtices	N	8.0	5.5	3.9	8.0

ANEXO 16

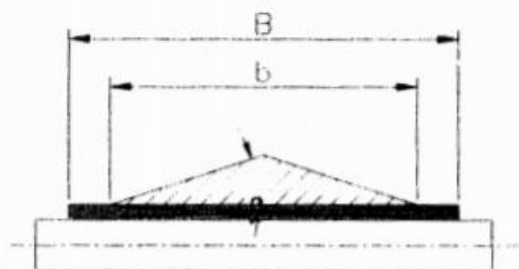


ANEXO 17

Rodillo plano:

$$b = 0.9B - 0.05$$

$$A = \frac{1}{4} b^2 [\tan \beta]$$



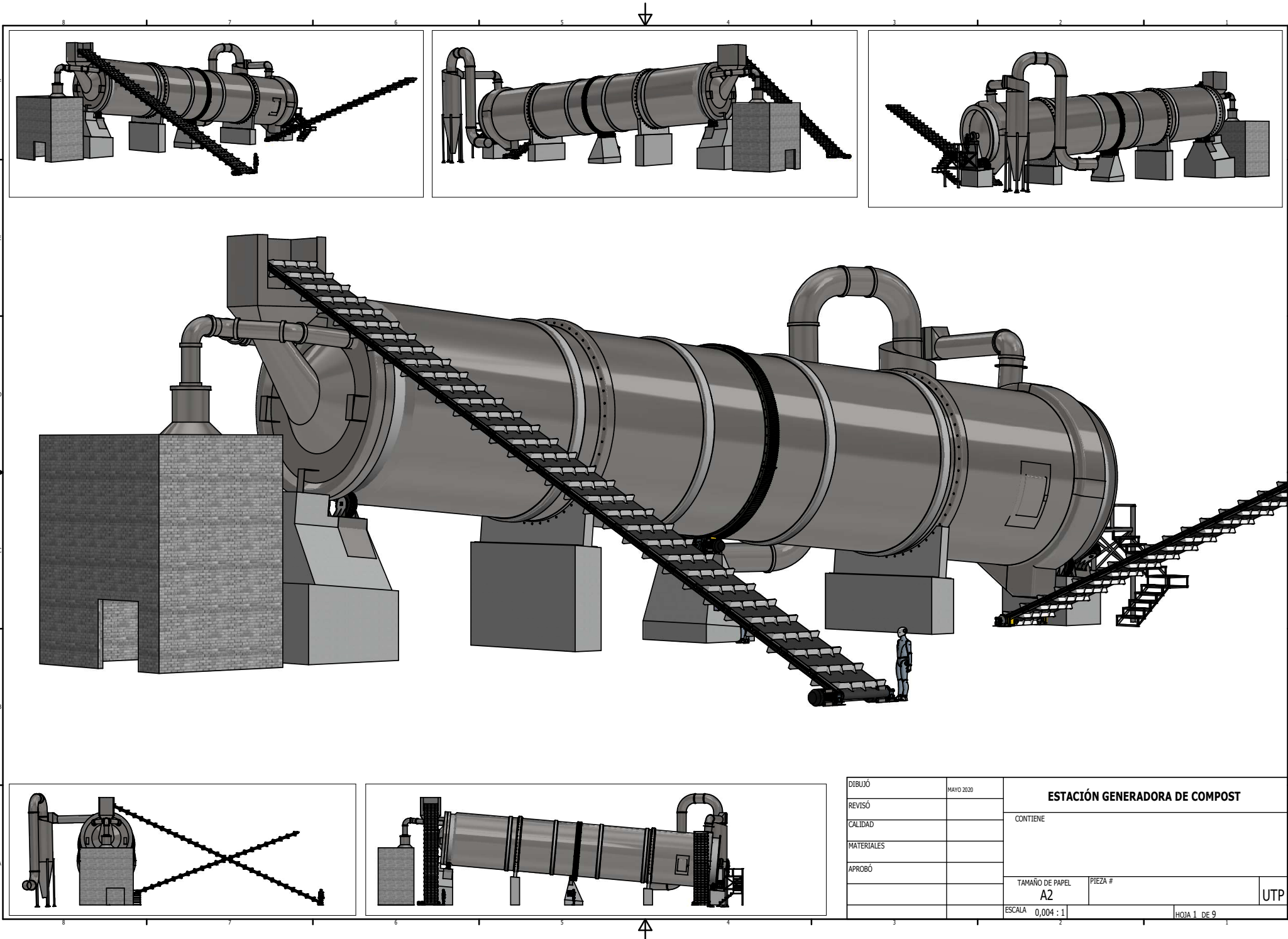
ANEXO 18

TABLA IV

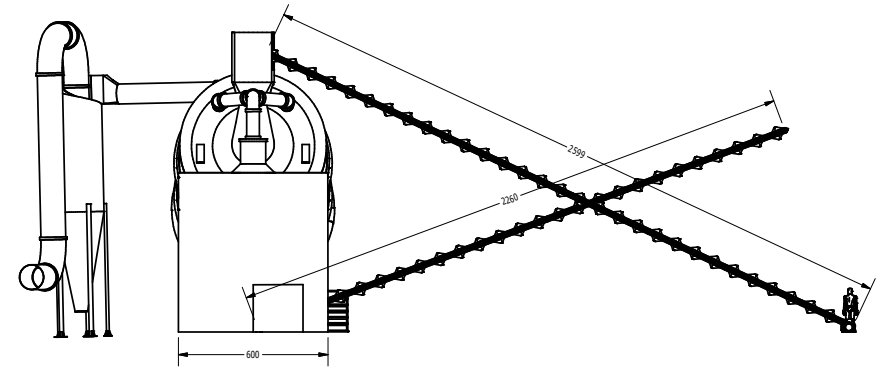
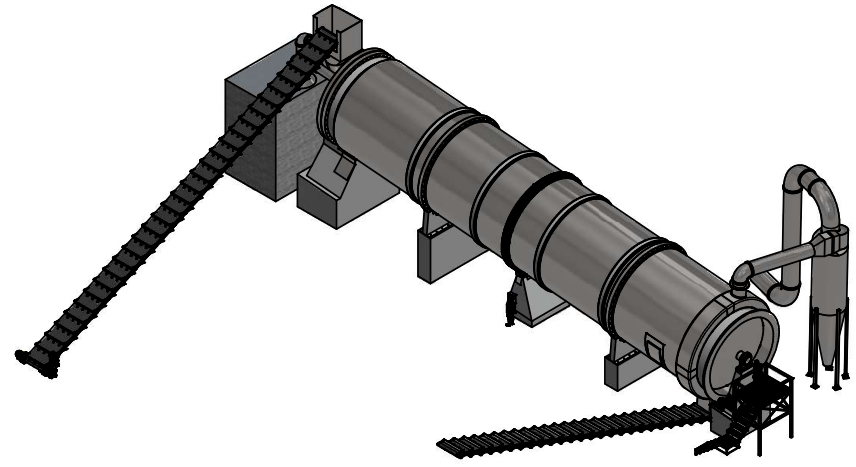
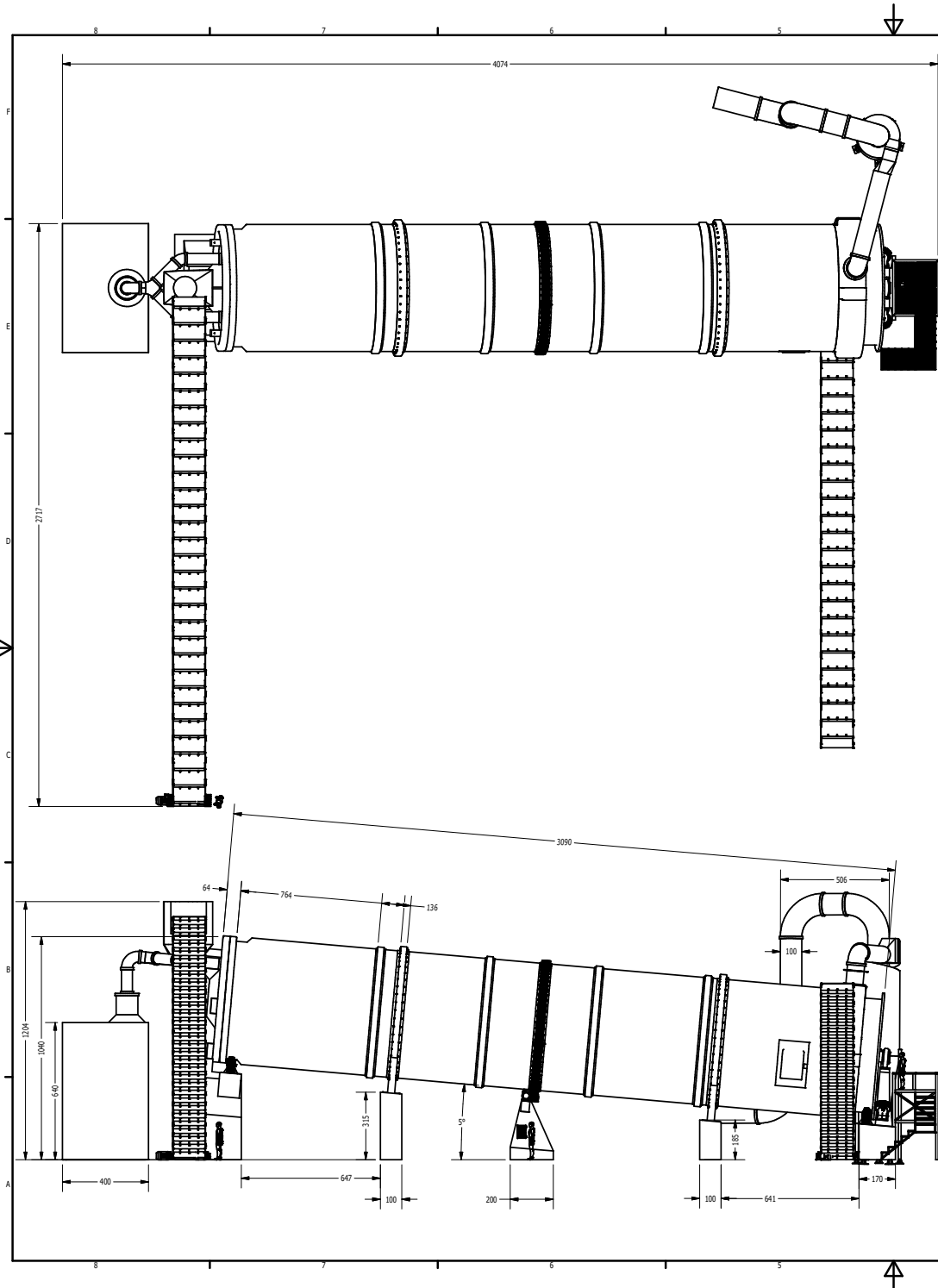
VELOCIDAD DE BANDA MAX. RECOMENDADA (m/s)

Ancho de Banda		Material		
mm	pulg	ligero(<0.8ton/m ³) grano fino	mediano(0.8-1.6 ton/m ³) abrasivo	pesado(>1.6ton/m ³) muy abrasivo
350	14	2	1.5	1.5
400	16	2.5	1.6	1.25
450	18	2.5	2	1.6
500	20	3.15	2.0	1.6
600	24	3.15	2.5	1.8
650	26	3.15	2.5	1.8
750	30	3.5	2.5	1.8
800	32	3.55	2.5	1.8
900	36	4.0	3.15	2.24
1000	40	4.0	3.15	2.24
1050	42	4.0	3.15	2.24
1200	48	4.0	3.15	2.24
1350	54	4.0	3.15	2.24
1400	56	4.0	3.15	2.24
1500	60	4.0	3.15	2.5
1600	64	4.0	3.55	2.5
1650	66	4.0	3.55	2.5
1800	72	4.5	3.55	2.5
2000	80	4.5	3.55	2.5
2200	88	4.5	3.55	2.5

ANEXO 19

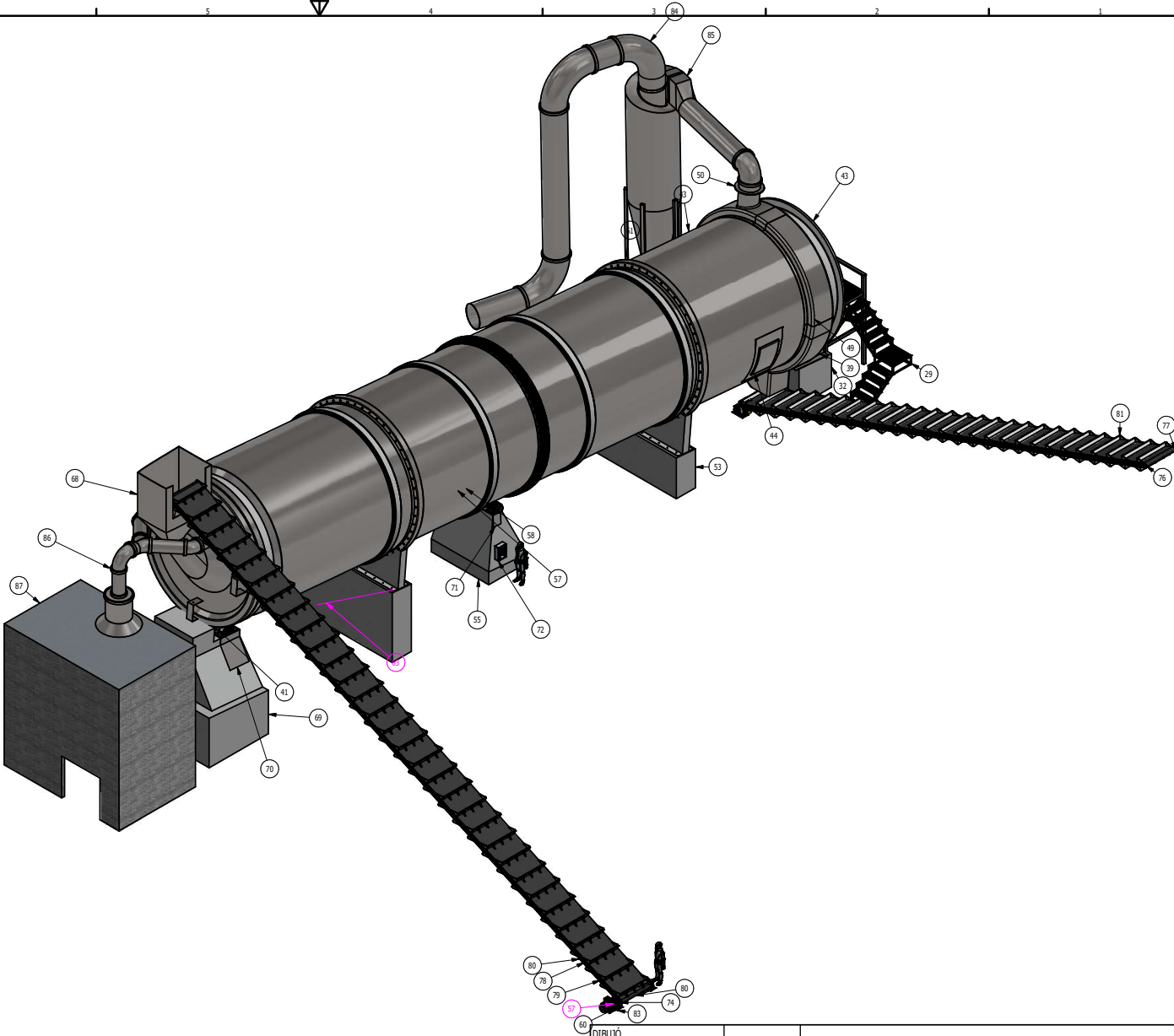


DIBUJÓ	MAYO 2020	ESTACIÓN GENERADORA DE COMPOST		
REVISÓ		CONTIENE		
CALIDAD				
MATERIALES				
APROBÓ				
		TAMAÑO DE PAPEL A2	PIEZA #	UTP
		ESCALA 0,004 : 1	HOJA 1 DE 9	



DIBUJÓ	MAYO 2020	ESTACIÓN GENERADORA DE COMPOST		
REVISÓ		CONTIENE		
CALIDAD				
MATERIALES				
APROBÓ				
		TAMAÑO DE PAPEL A2	PIEZA #	UTP
		ESCALA 0,007 : 1		HOJA 2 DE 9

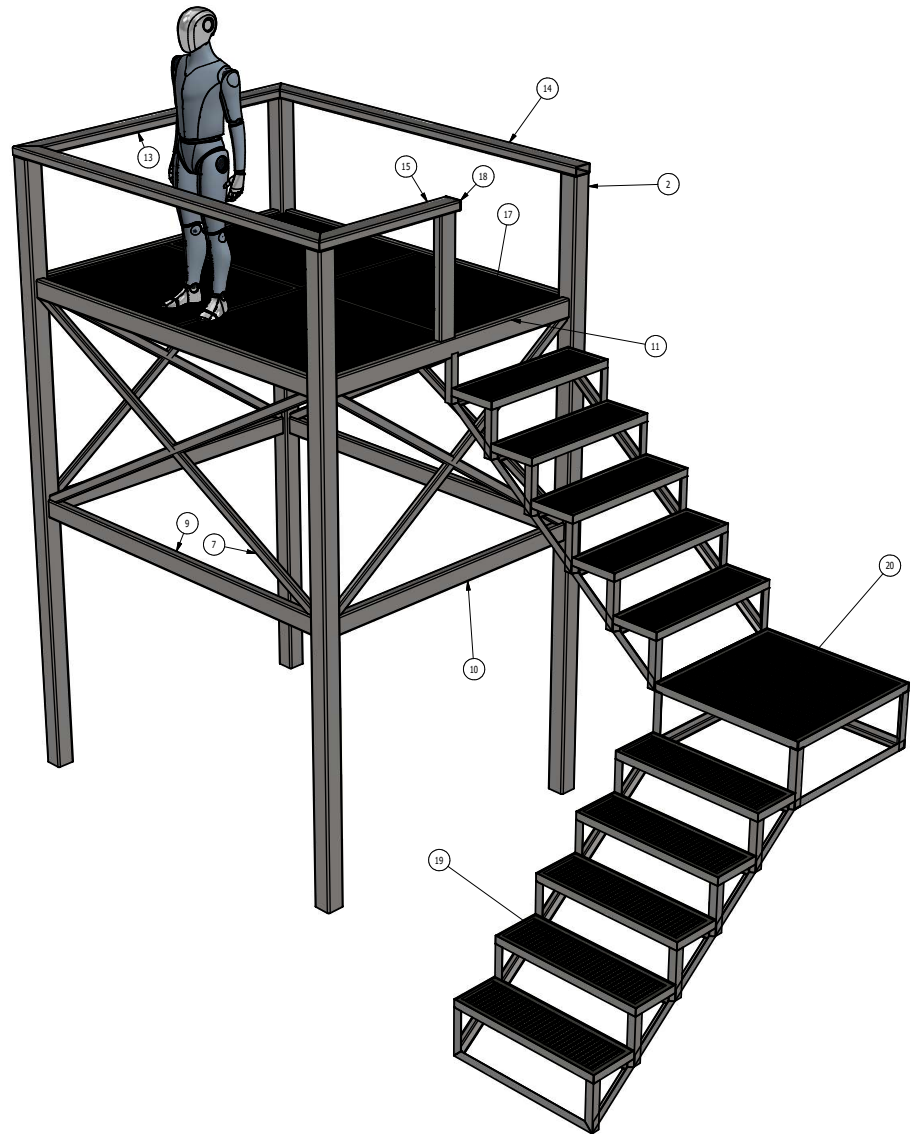
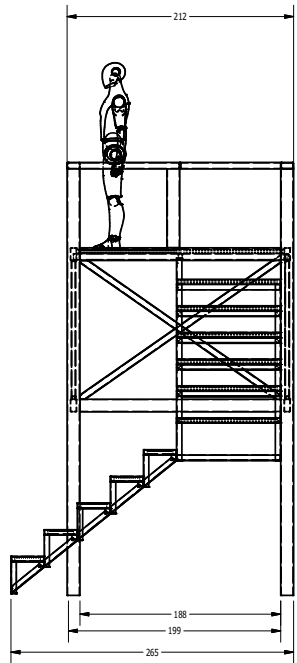
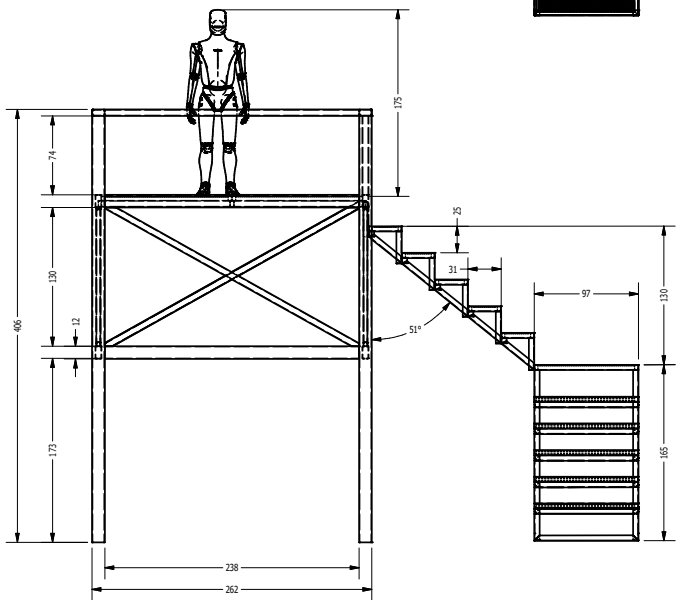
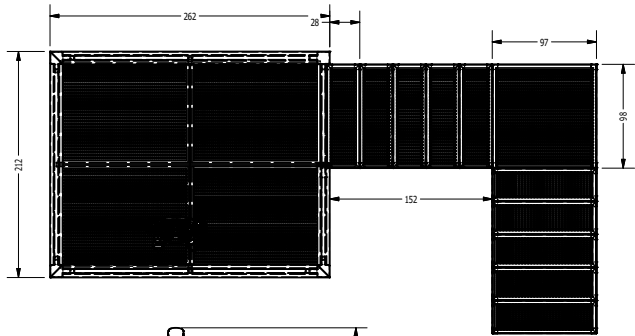
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
29	1	Estructura metálica con malla en perfiles angulares ISO 657-1 - L50x50x5-975	Secciones de acero laminadas en caliente - Parte 1: ángulos de lados iguales
32	1	Base primaria para rodamiento	
35	2	Placa holder para llantas	
36	6	Eje de la llanta	
37	6	Llanta	
39	1	Placa para amortiguación	
41	4	Placa holder para llantas-2	
43	1	Tambor giratorio	
44	1	Puerta de escotilla	
45	50	ACS 260 Diam	
46	150	Eje 01	
47	300	STN 022930 - 50	Avillas de retención para el eje
48	300	SKF 6310-Z	Rodamientos de bolas con acanalado profundo, de una hilera, con escudo 2 SKF
49	1	Tolville de drenaje - Part1	
50	1	Tolville de drenaje - Parte 2 de 4	
51	1	Tolville de drenaje - Parte 3 de 4	
52	1	Tolville de drenaje - Parte 4 de 4	
53	1	Base 1	
55	1	Base del motor	
57	6	Motor	
58	4	Eje del motor	
59	4	Engranaje recto	
60	6	Imported 18	
61	2	Aro 1	
62	100	ACS	
63	2	Arca del tambor	
64	200	IFI 542 - 20	Arandela circular
65	100	ANSI B18.2.4.2M - M20x2.5	Estilos de tuercas hexagonales métricas 2
66	100	Bolt GB/T 5785 M18 x 1.5 x 180	Cabezas Hexagonales
67	1	Base 5	
68	1	Tolva de alimentación del tambor	
69	1	Base 6	
70	1	Arca de tolva de alimentacion	
71	1	Placa holder para motores	
72	1	Arranque Estrella Triangulo	
74	4	Arca de motor a cinta	
75	45	Rodillo de banda trasportadora	
76	86	Arca angulo de motor a cinta	
77	704	Guías del arca de motor a cinta	
78	86	Perfil de aluminio	
79	90	SKF1201 E	Rodamientos de bolas autoalineados, doble fila, con taladro cilíndrico SKF
80	1	Cinta	
81	116	CARRIER	
82	43	SKIES	
83	4	Pie de motor de cinta	
84	1	Colector de polvo	
85	1	Conducto para el colector	
86	1	Tuberías encamizada	
87	1	Homo	
88	1	Cinta 2	
89	2	Engranaje recto P	



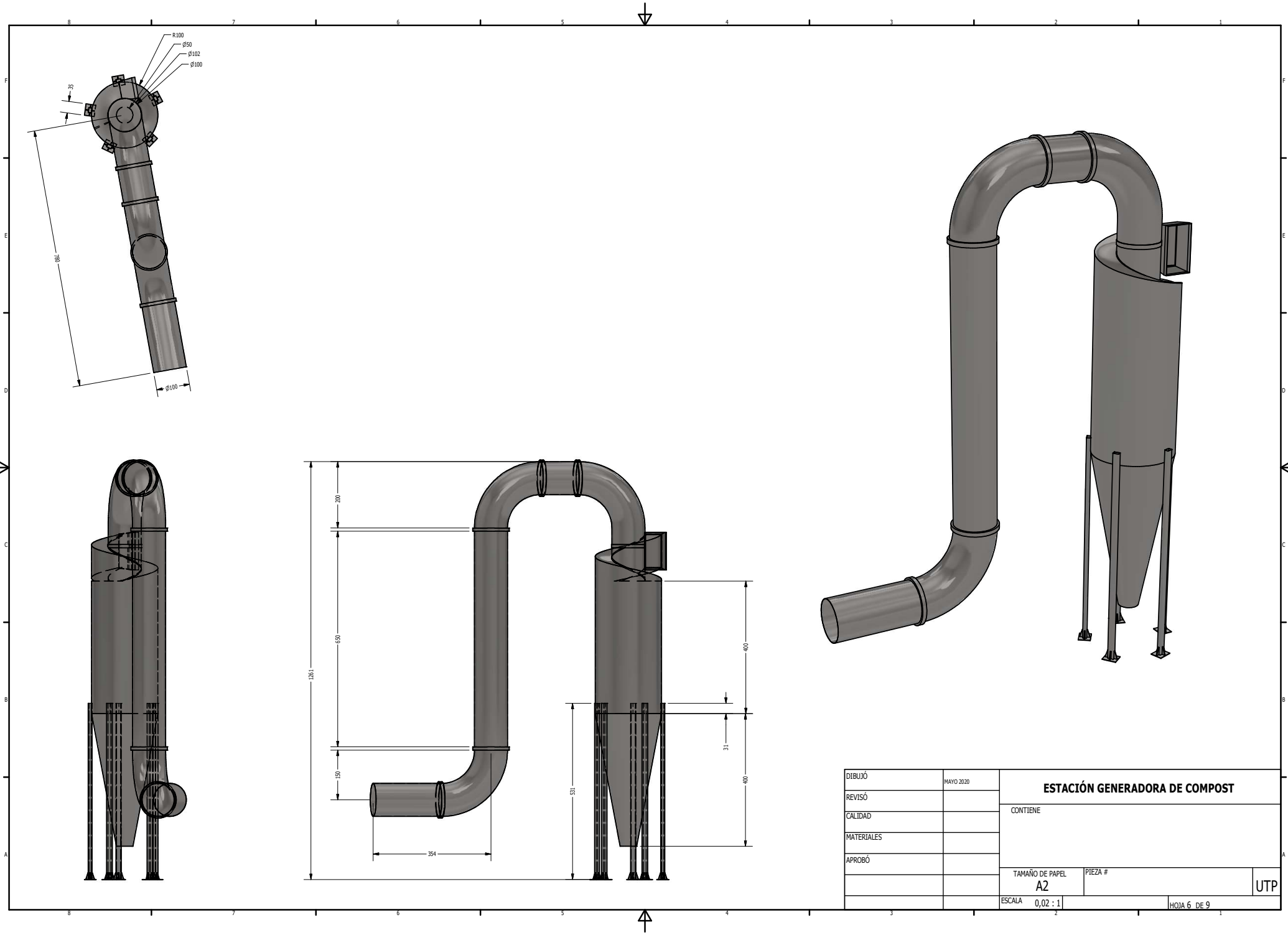
DIBUJÓ	MAYO 2020	ESTACIÓN GENERADORA DE COMPOST		
REVISÓ				
CALIDAD				
MATERIALES				
APROBÓ		CONTIENE		
		TAMAÑO DE PAPEL	PIEZA #	UTP
		A2		
		ESCALA	0,009 : 1	HOJA 3 DE 9



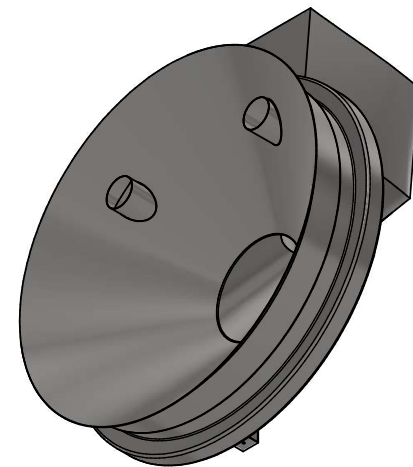
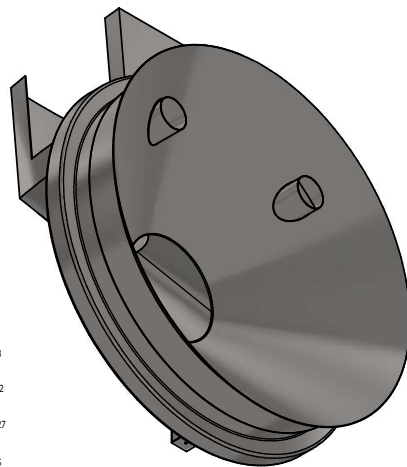
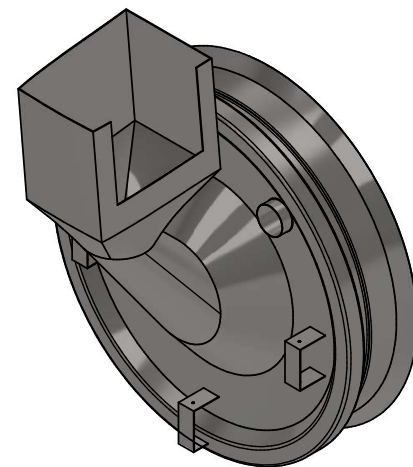
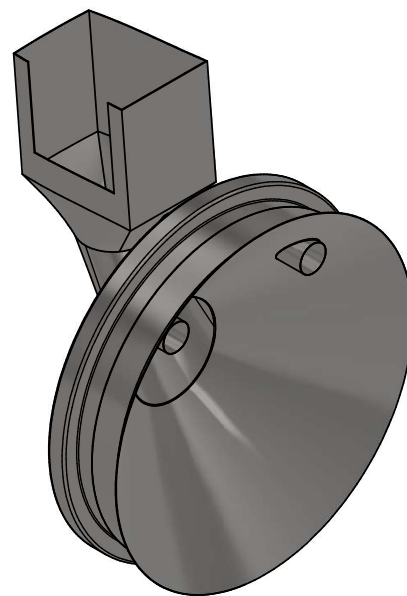
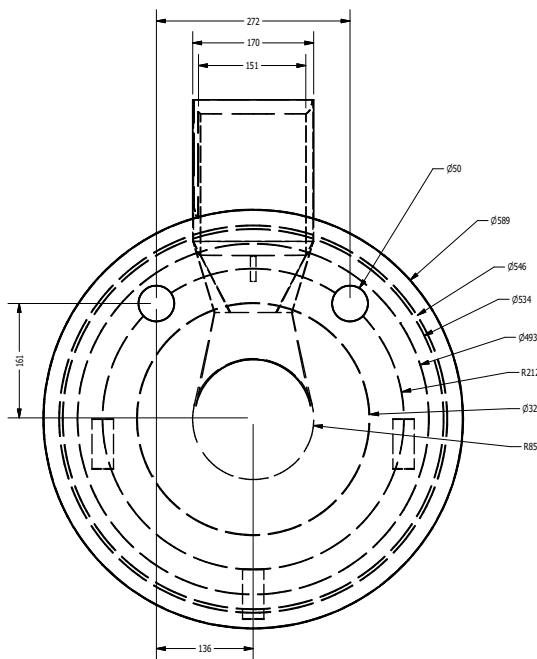
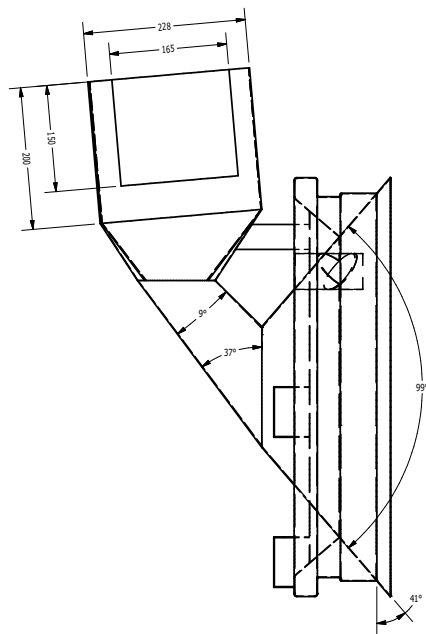
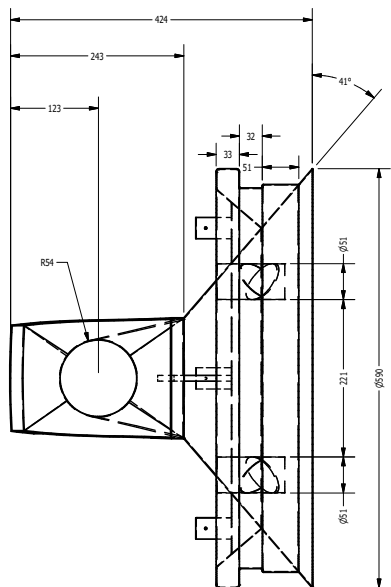
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	Cantidad	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
2	16000,000 mm	ISO 10799-2 - 120x120x6 - 4000	Acero para construcciones
7	8127,079 mm	ISO 10799-2 - 60x40x4 - 2709,026	Acero para construcciones
9	9512,000 mm	ISO 10799-2 - 120x60x5 - 2378	Acero para construcciones
10	5634,000 mm	ISO 10799-2 - 120x60x5 - 1878	Acero para construcciones
11	1879,000 mm	ISO 10799-2 - 120x60x5 - 1879	Acero para construcciones
13	2118,586 mm	ISO 10799-2 - 120x60x5 - 2118,586	Acero para construcciones
14	2619,293 mm	ISO 10799-2 - 120x60x5 - 2619,29327772	Acero para construcciones
15	1054,293 mm	ISO 10799-2 - 120x60x5 - 1054,293	Acero para construcciones
17	4	Malla 2	
18	1	Tapón	
19	10	Escalón	
20	1	Escalón descanso	



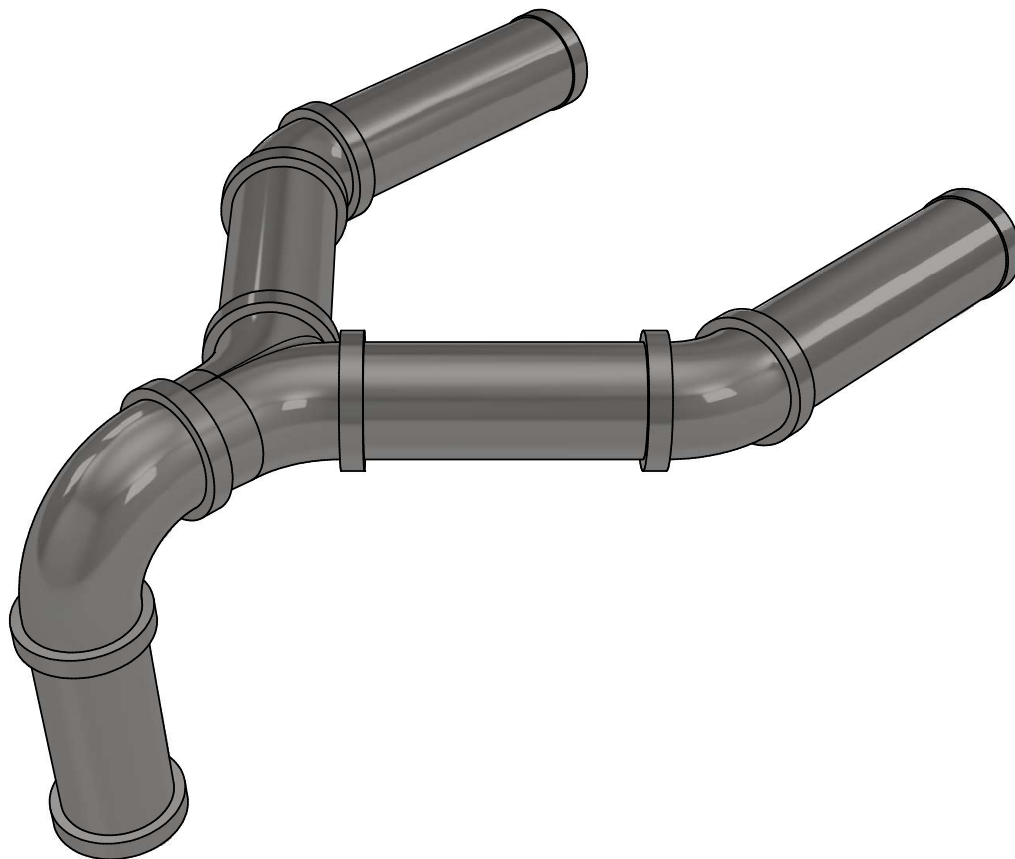
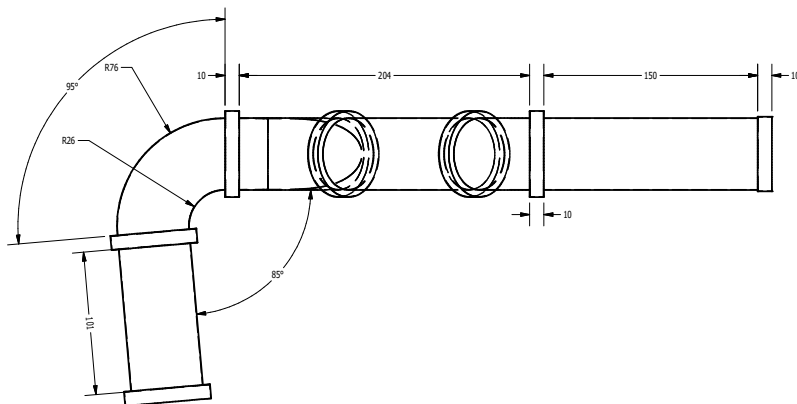
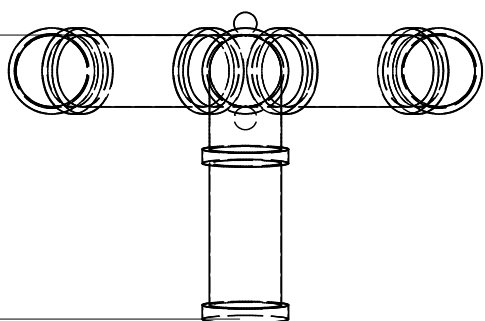
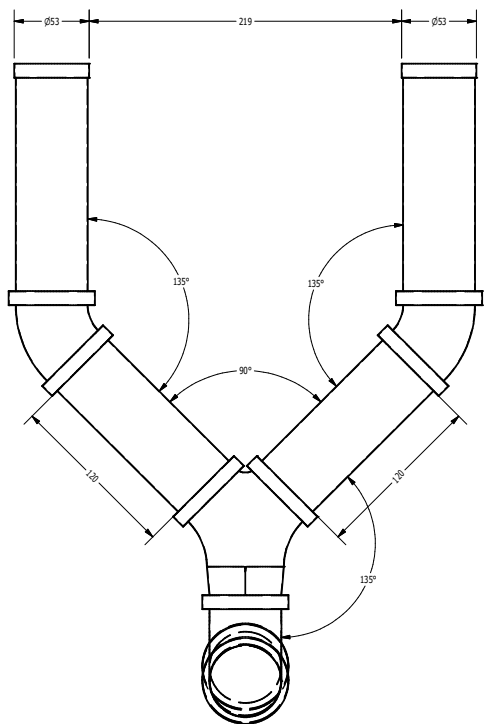
DIBUJÓ	MAYO 2020	ESTACIÓN GENERADORA DE COMPOST		
REVISÓ		CONTIENE		
CALIDAD				
MATERIALES				
APROBÓ				
		TAMAÑO DE PAPEL A2	PIEZA #	UTP
		ESCALA 0,05 : 1		
			HOJA 4 DE 9	



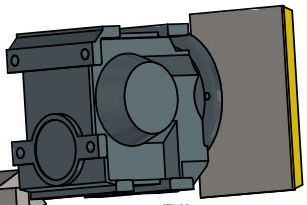
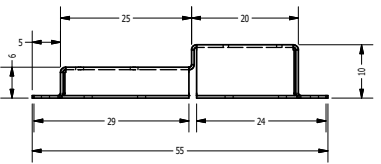
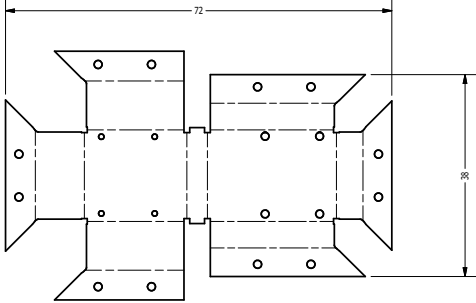
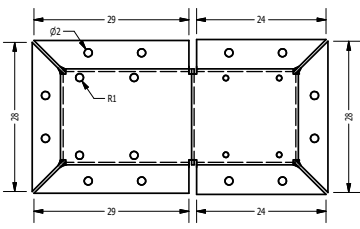
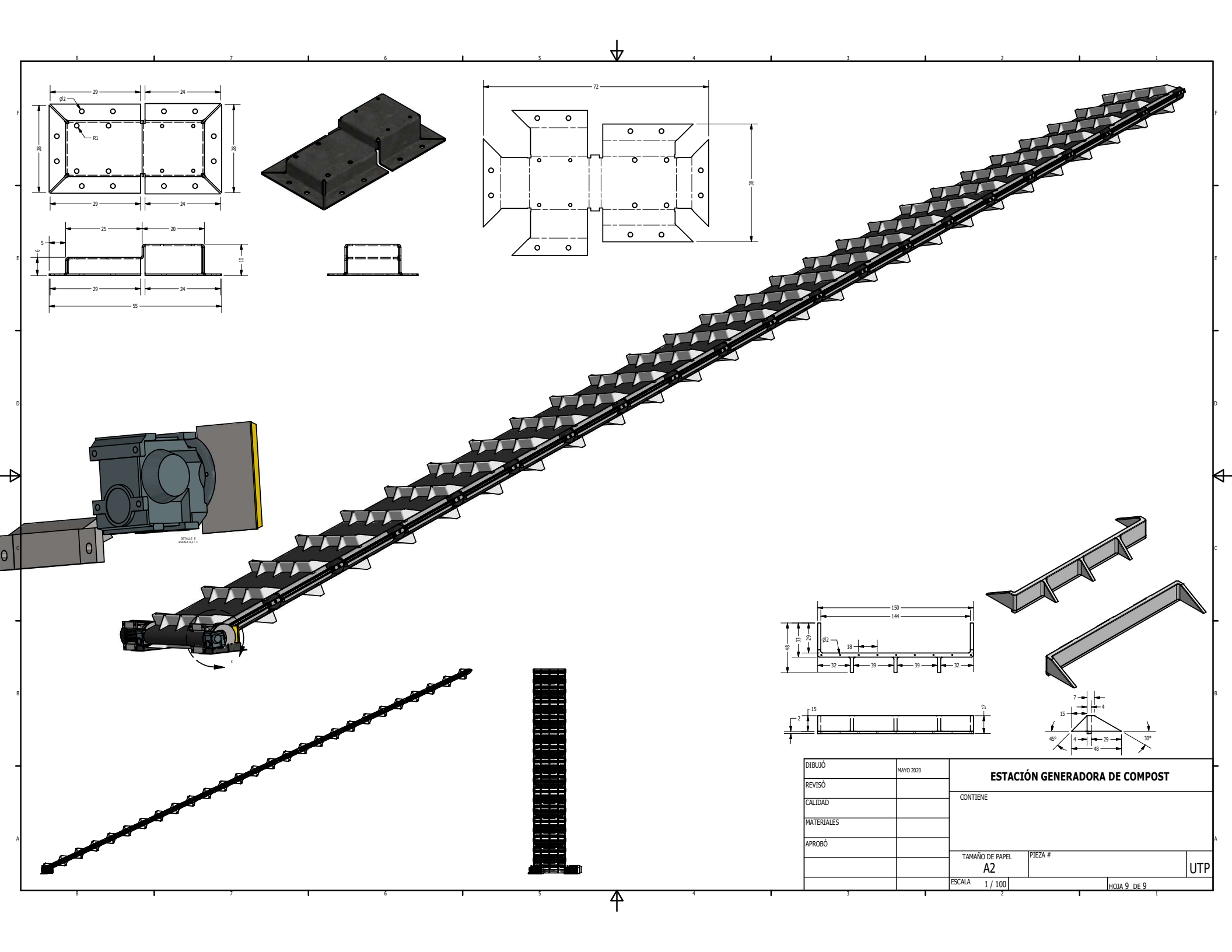
DIBUJÓ	MAYO 2020	ESTACIÓN GENERADORA DE COMPOST		
REVISÓ		CONTIENE		
CALIDAD				
MATERIALES				
APROBÓ				
		TAMAÑO DE PAPEL A2	PIEZA #	UTP
		ESCALA 0,02 : 1		HOJA 6 DE 9



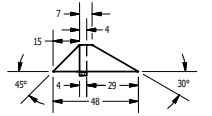
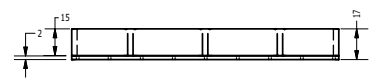
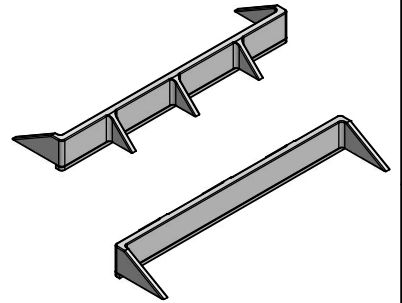
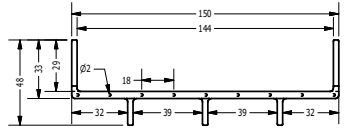
DIBUJÓ	MAYO 2020	ESTACIÓN GENERADORA DE COMPOST	
REVISÓ		CONTIENE	
CALIDAD			
MATERIALES			
APROBÓ			
		TAMAÑO DE PAPEL A2	PIEZA #
		ESCALA 0,02 : 1	UTP
			HOJA 7 DE 9



DIBUJÓ	MAYO 2020	ESTACIÓN GENERADORA DE COMPOST		
REVISÓ		CONTIENE		
CALIDAD				
MATERIALES				
APROBÓ				
		TAMAÑO DE PAPEL A2	PIEZA #	UTP
		ESCALA 0,04 : 1		HOJA 8 DE 9



DETALLE E
ESCALA 1:1



DIBUJÓ	MAYO 2020	ESTACIÓN GENERADORA DE COMPOST	
REVISÓ		CONTIENE	
CALIDAD			
MATERIALES			
APROBÓ			
		TAMAÑO DE PAPEL A2	PIEZA #
		ESCALA 1 / 100	UTP